



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**Caracterización, tipificación,
selección y mejora genética de
variedades valencianas de tomate**

Tesis doctoral

M^a del Rosario Figàs Moreno

Directores

Jaime Prohens Tomás

Salvador Soler Aleixandre

Valencia, mayo 2018

“El camp vol vore a l’amo.”

Pepet el de l’Horta

...a les meues nenes i a Salva,
vos vull molt.

Agradecimientos

Quiero aprovechar esta ocasión para agradecer a todas las personas que han estado a mi lado y que han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

En esta casa, el COMAV, agradecer sinceramente a los que han apostado por mí.

A las personas que están o han estado trabajando conmigo en el laboratorio, quiero agradecerles su esfuerzo en la consecución de los mejores resultados.

A las empresas que confían en nosotros y nos han dado la oportunidad de trabajar con ellas para mejorar sus productos.

A los agricultores colaboradores que con sus conocimientos y saber hacer nos han ayudado a obtener los mejores frutos. Todos tienen mi respeto y admiración.

Agradecer especialmente a mis directores de tesis la oportunidad de participar en esta aventura, y que sin su ayuda y apoyo este trabajo no se habría podido realizar. MUCHAS GRACIAS.

Resumen

Las variedades tradicionales son el resultado del cultivo de una variedad por el agricultor en un determinado ambiente. En los diferentes territorios valencianos a lo largo de los siglos los agricultores fueron generando un valioso patrimonio constituido por gran diversidad de variedades tradicionales de hortalizas. Las variedades desarrolladas se fueron diferenciando dependiendo de las diferentes condiciones agroclimáticas valencianas y los diversos tipos de selección aplicada por los agricultores en cada localidad o zona de cultivo. En este proceso, los agricultores tuvieron en cuenta, de forma muy importante, la calidad organoléptica, es decir, el gusto como factor destacado en la selección de las semillas que utilizaban para cada ciclo de cultivo. En este sentido, estas variedades tienen un gran valor como patrimonio etnobotánico de un país, y como tal deberían ser conservadas. También como recursos fitogenéticos constituyen un excelente material de trabajo para el mejorador. Sin embargo, muchas de estas variedades son cultivadas por agricultores de avanzada edad y con un riesgo muy elevado de desaparición a corto plazo. Es decir, muchas de las variedades tradicionales valencianas de hortalizas se encuentran en un peligro real de desaparición.

Para la conservación de los recursos fitogenéticos, se considera fundamental complementar la conservación *ex situ* en bancos de germoplasma, con una conservación *in situ*. Este tipo de conservación puede generalizarse en los campos valencianos si somos capaces de poner en valor las variedades tradicionales de hortalizas en sus zonas de origen, mediante la recuperación de su explotación comercial. Para poner en valor estas variedades tiene una importancia clave ganar la fidelidad del consumidor hacia ellas, en base a unas características de calidad interna

exquisitas. Cada vez más hay asociaciones de productores y cooperativas que apuestan por poner en el mercado productos de calidad organoléptica excepcional. Son precisamente estas características de sabor y calidad las que sirven a los agricultores para presentar al consumidor un producto alimenticio de élite, diferenciado y único. Paradójicamente, en estos casos los agricultores se basan en características externas, fundamentalmente morfológicas, para enfatizar el carácter único de su producto. Es el caso del acostillado en el fruto de tomate de la variedad tradicional 'Mutxamel' o el apuntamiento del fruto en la variedad 'Valenciana'. La importancia del cultivo del tomate en Valencia favoreció la selección realizada por los agricultores durante decenios de años y el desarrollo de numerosas variedades tradicionales, que se caracterizan por su amplia diversidad y calidad organoléptica, como son las que hoy conocemos como 'Valenciana', 'Mutxamel', 'De Pruna', 'Forma Pimientó', 'De Penjar' y 'De Borseta'. Sin embargo existen muchos tipos locales de difícil catalogación.

El trabajo realizado en la presente tesis pretende contribuir a la puesta en valor de las variedades tradicionales valencianas de tomate. En primer lugar se aborda la caracterización de una colección de entradas de variedades valencianas de tomate. Para la caracterización morfológica bruta de estas variedades son de gran utilidad los descriptores de tomate convencional, pero pueden no ser prácticos para la descripción precisa del fruto, necesaria para distinguir grupos de variedades estrechamente relacionadas. La herramienta fenòmica Tomato Analyzer es una nueva herramienta que proporciona múltiples datos de morfología del tomate a partir de imágenes escaneadas de secciones de frutos. Se caracterizaron 69 entradas de variedades locales de tomate de la región de Valencia (España) correspondientes a ocho tipos varietales ('De Borseta', 'Cherry', 'Cor', 'De

Penjar', 'Plana', 'De Pruna', 'Redona' y 'Valenciana') con 64 descriptores convencionales y 38 características medidas con el Tomato Analyzer. Se encontraron diferencias significativas entre las entradas ensayadas para todos los caracteres evaluados, excepto cinco descriptores convencionales monomórficos, que revelan una gran diversidad en la colección. También se encontraron diferencias significativas entre los tipos varietales para 36 descriptores convencionales y 37 características del Tomato Analyzer. Los tipos 'De Borseta', 'Cherry', 'De Penjar', 'Plana' y 'De Pruna' fueron claramente diferentes y cada uno de ellos presentó muchas diferencias significativas con el resto de tipos. Los descriptores convencionales no distinguían bien los tipos 'Cor', 'Redona' y 'Valenciana', pero mediante los descriptores del Tomato Analyzer se distinguen claramente 'Valenciana' de los tipos 'Cor' y 'Redona'. Un análisis de componentes principales multivariantes mostró que, a excepción de seis accesiones (8,7%), los diferentes tipos varietales (incluyendo el 'Cor' y 'Redona', muy similares) se representaban en áreas separadas del gráfico PCA. Los resultados han demostrado que los descriptores combinados convencionales y de Tomato Analyzer junto con el análisis PCA son una herramienta poderosa para la caracterización y clasificación de las variedades locales de tomate, así como para la distinción entre tipos varietales relacionados. Esto tiene implicaciones importantes para la mejora y la protección de las variedades locales de tomate.

Como hemos visto el germoplasma y materiales de mejora suelen caracterizarse con descriptores morfológicos y agronómicos, que normalmente deberían tener una gran heredabilidad. A pesar del uso generalizado de los descriptores estandarizados de tomate, hay poca información sobre los efectos ambientales sobre los valores de los

descriptores y sobre su herencia. Hemos evaluado 12 entradas de tomate procedentes de siete tipos varietales en tres ambientes diferentes (cultivo convencional aire libre, cultivo ecológico aire libre e invernadero) y los hemos caracterizado con 36 descriptores. Se encontró una amplia gama de variación para la mayoría de los descriptores, demostrando su utilidad para describir los materiales de tomate, su diversidad y relaciones. El análisis de la variación de los descriptores revela que mientras que para algunos descriptores con un control genético simple, el efecto entrada representa el 100% de la variación, para otros como el rendimiento por planta, sólo el 10,83% de la variación observada se debe al efecto de entrada. Aunque se encontraron diferencias significativas entre los ambientes de la mayoría de los descriptores, incluyendo un rendimiento mucho más alto en el entorno convencional de campo abierto que, en los otros dos, el efecto ambiental era bajo para la mayoría de los caracteres. Sin embargo, el efecto del genotipo \times ambiente generalmente tuvo una importante contribución a la estructura de variación de muchos descriptores, y para tres caracteres tuvo la mayor contribución al porcentaje de la suma de cuadrados. Como resultado de la estructura de variación, los valores de heredabilidad son elevados ($> 0,7$) para sólo 10 descriptores, mientras que para cinco es bajo ($< 0,3$). El análisis de componentes principales (PCA) revela que las proyecciones en el gráfico de PCA de una misma entrada que se cultiva en diferentes entornos vislumbran juntos en la misma área del gráfico PCA. Aunque los tipos varietales están generalmente separados claramente en el gráfico de PCA, se integran en algunas ocasiones entradas del mismo tipo varietal. Estos resultados tienen implicaciones importantes para detectar duplicados de tomate y establecer colecciones nucleares, así como para

analizar germoplasma y materiales de mejora, cuando se utilizan conjuntos de datos sobre entradas evaluadas en diferentes ambientes.

Dentro de las tareas de la caracterización de variedades tradicionales y para tener un producto atractivo para el consumidor puede ser muy interesante asociar características saludables como un elevado contenido en vitaminas o sustancias antioxidantes beneficiosas para la salud. Con este motivo se caracterizaron 69 entradas locales de tomate procedentes de ocho tipos varietales para caracteres de composición como contenido en distintos azúcares, ácidos y antioxidantes. Se encontró una gran diversidad, con diferencias entre entradas de casi diez veces para el contenido en licopeno. Se encontraron diferencias significativas entre los tipos varietales ensayados para la mayoría de las entradas. Los tipos varietales 'Cherry' y 'De Penjar' generalmente presentaban mayor materia seca, contenido de sólidos solubles, acidez titulable, índice de gusto, β -caroteno, ácido ascórbico, fenólicos totales y actividad antioxidante que los otros grupos. Se encontraron anchos rangos de variación dentro de cada tipo varietal. Se encontraron correlaciones positivas entre caracteres relacionados con el gusto y los antioxidantes. El análisis de componentes principales multivariantes confirma el perfil diferenciado de los grupos 'Cherry' y 'De Penjar' y la gran variación dentro de cada tipo varietal. Los resultados serán útiles para la diferenciación, mejora y selección de variedades locales de tomate con propiedades organolépticas mejoradas. Ante este tipo de productos hortícolas el consumidor puede estar dispuesto a consumir pagando precios a veces mucho más elevados que los correspondientes a las variedades hortícolas comerciales.

Los estudios de caracterización y tipificación de las variedades tradicionales de tomate son imprescindibles para detectar factores que

dificultan su puesta en valor y fomento de la explotación comercial, así como para emprender programas de mejora de las mismas para aumentar su competitividad y rentabilidad. En este sentido, dentro de esta tesis se han caracterizado 3 poblaciones de tomate 'Valenciana d'El Perelló'. El objetivo ha sido obtener información fenotípica de relevancia en este tipo de tomate. Esta información está siendo muy útil para su mejora genética. Así, hemos podido constatar que las poblaciones empleadas de tomate 'Valenciana d'El Perelló' se caracterizan por presentar frutos del tipo "masclet" con una frecuencia elevada y un nivel productivo muy aceptable. La menor productividad de las selecciones ensayadas en comparación con el control comercial parece ser debida a una concentración de la producción en los 2-3 primeros ramilletes de la planta; y una caída drástica del cuajado en los ramilletes superiores. No obstante, en el programa de selección y mejora del tomate 'Valenciana d'El Perelló' que se está realizando se dispone de selecciones con una frecuencia de "masclets" más elevada y una distribución de cuajado mucho más uniforme.

El tomate tradicional valenciano es apreciado por sus propiedades organolépticas que le otorgan un elevado interés comercial. En concreto el tomate 'Valenciana d'El Perelló' es cada vez más apreciado en las superficies comerciales. Este tomate presenta diferentes rasgos morfológicos, agronómicos y de calidad que la hacen atractiva para el agricultor y para el consumidor. Sin embargo, a veces presenta problemas de uniformidad de producción, así como de otras características importantes. Por otra parte, esta variedad presenta una elevada susceptibilidad a enfermedades como la causada por el virus del mosaico del tomate (ToMV). Así, una forma muy interesante de potenciar este cultivo tan valenciano, es obtener variedades más uniformes así como

resistentes al ToMV. En este trabajo se ha llevado a cabo un programa de selección así como un programa de mejora genética de la resistencia al ToMV del tomate 'Valenciana d'El Perelló'. Así, se han derivando un conjunto de linajes de tomate 'Valenciana d'El Perelló' con distintas características morfoagronómicas y con mayor uniformidad. Por otra parte, se ha llevado a cabo la introducción del gen *Tm2²* que confiere resistencia al ToMV en cada uno de estos linajes conservando sus características de calidad. En la actualidad se dispone de 7 linajes de tomate 'Valenciana d'El Perelló' portadores del gen *Tm2²* preparados para ser transferidos a los agricultores para su cultivo.

En cuanto a la adaptación a las condiciones agroclimáticas locales de las variedades tradicionales, esta característica es fundamental para el desarrollo de productos de alto valor añadido que pueden constituir alternativas rentables para los agricultores de estas mismas zonas geográficas. Así, las plantas de tomate de larga duración, que se caracterizan por llevar el alelo *alc* al núcleo NOR.NAC, han sido cultivadas tradicionalmente en la región mediterránea. Estos materiales, conocidos como tomate 'De Penjar', han evolucionado y están adaptados a condiciones de campo abierto bajo condiciones de bajo consumo de recursos. Sin embargo, el cultivo bajo invernadero se está expandiendo debido al aumento de su demanda. En esta tesis hemos partido de la hipótesis de que la gran diversidad de variedades de tomates del tipo 'De Penjar' y materiales derivados sea útil para adaptarse a estas nuevas condiciones de cultivo. Así, se han evaluado 12 variedades (siete entradas tradicionales, tres selecciones y dos híbridos) que contienen la mutación *alc* en cultivo al aire libre (OF) y en cultivo bajo invernadero (GH) y las hemos evaluado para 52 propiedades morfológicas, agronómicas,

químicas y descriptores de composición química. Todos los descriptores, excepto seis morfológicos, fueron variables. El efecto variedad fue el principal contribuyente a la variación de la mayoría de los caracteres morfológicos, así como del peso del fruto, forma del fruto, materia seca y sólidos solubles. Sin embargo, se encontraron importantes interacciones medioambientales y de genotipo \times ambiente para 36 y 42 descriptores, respectivamente. Los frutos de las plantas de GH tenían menos peso y firmeza y eran menos rojas que las de OF, mientras que el rendimiento en GH era un 35% menor en media y la pérdida de frutos diarios en la postcosecha un 41% más que en OF. Sin embargo, los frutos de GH tenían en promedio una cantidad ligeramente más alta de materia seca y contenido de sólidos solubles, actividad antioxidante, glucosa, fructosa y concentraciones de ácido ascórbico, así como contenidos más bajos en licopeno y β -caroteno que los de OF. El análisis de componentes principales separó claramente las variedades según el ambiente de cultivo, aunque el patrón de distribución de variedades en cada uno de los dos grupos (GH y OF), a pesar de la fuerte interacción G \times E para muchos descriptores, fue similar. Además, los materiales con un origen común se representan en la misma zona de cada clúster, y las selecciones e híbridos se agrupan junto con las variedades tradicionales. Los resultados revelan un alto impacto del ambiente de cultivo sobre las propiedades morfológicas, agronómicas, químicas y de composición química de las variedades de tomate tradicionales de larga duración mediterráneas y sugieren que se desarrollen programas específicamente centrados en la adaptación a cultivo bajo invernadero.

La tesis realizada ha permitido caracterizar de forma precisa los principales tipos varietales de tomate tradicional de los territorios

valencianos desde un punto de vista morfoagronómico, pero también de composición nutritiva. Este estudio ha permitido determinar aquellos descriptores o caracteres más adecuados para distinguir entre tipos varietales. Además, se ha evaluado la influencia del ambiente de cultivo sobre estos caracteres y su utilidad a la hora de catalogar las entradas de tomate tradicional. Continuando con la puesta en valor de las variedades tradicionales valencianas de tomate se ha desarrollado un programa de mejora del tomate 'Valenciana d'El Perelló' para una mayor uniformidad y resistencia a la enfermedad ocasionada por ToMV. Resultado de este programa se dispone de materiales con resistencia preparados para su cultivo. Finalmente se ha trabajado en estudiar la posibilidad de la mejora y desarrollo de materiales de variedades tradicionales, como los del tipo 'De Penjar', para su cultivo en invernadero con el motivo de ampliar la oferta de este tipo varietal a lo largo del año, teniendo en cuenta su creciente demanda.

Resum

Les varietats tradicionals són el resultat del cultiu d'una varietat per l'agricultor en un determinat ambient. En els diferents territoris valencians al llarg dels segles els agricultors van anar generant un valuós patrimoni constituït per gran diversitat de varietats tradicionals d'hortalisses. Les varietats desenvolupades s'anaren diferenciant depenent de les diferents condicions agroclimàtiques valencianes i dels diversos tipus de selecció aplicada pels agricultors en cada localitat o zona de cultiu. En aquest procés, els agricultors van tenir en compte, de forma molt important, la qualitat organolèptica, és a dir, el gust com a factor destacat en la selecció de les llavors que utilitzaven per a cada cicle de cultiu. En aquest sentit, aquestes varietats tenen un gran valor com a patrimoni etnobotànic d'un país, i com a tal haurien de ser conservades. També com a recursos fitogenètics constitueixen un excel·lent material de treball per al millorador. No obstant, moltes d'aquestes varietats són conreades per agricultors d'avançada edat i amb un risc molt elevat de desaparició a curt termini. És a dir, moltes de les varietats tradicionals valencianes d'hortalisses es troben en un perill real de desaparició.

Per a la conservació dels recursos fitogenètics, es considera fonamental complementar la conservació *ex situ* en bancs de germoplasma, amb una conservació *in situ*. Aquest tipus de conservació pot generalitzar-se als camps valencians si som capaços de posar en valor les varietats tradicionals d'hortalisses en les seves zones d'origen, mitjançant la recuperació de la seva explotació comercial. Per a posar en valor aquestes varietats té una importància clau guanyar la fidelitat del consumidor cap a elles, en base a unes característiques de qualitat interna

exquisides. Cada vegada més hi ha associacions de productors i cooperatives que aposten per posar al mercat productes de qualitat organolèptica excepcional. Son precisament aquestes característiques de sabor i qualitat les que serveixen als agricultors per presentar al consumidor un producte alimentari d'elit, diferenciat i únic. Paradoxalment, en aquests casos els agricultors es basen en característiques externes, fonamentalment morfològiques, per emfatitzar el caràcter únic del seu producte. És el cas de l'acostellat en el fruit de tomaca de la varietat tradicional 'Mutxamel' o l'apuntament del fruit en la varietat 'Valenciana'. La importància del cultiu de la tomata a València va afavorir la selecció realitzada pels agricultors durant decennis d'anys i el desenvolupament de nombroses varietats tradicionals, que es caracteritzen per la seva àmplia diversitat i qualitat organolèptica, com són les que avui coneixem com 'Valenciana', 'Mutxamel', 'De Pruna', 'Forma Pimentó', 'De Penjar' i 'De Borseta'. No obstant això existeixen molts tipus locals de difícil catalogació.

El treball realitzat en la present tesi pretén contribuir a la posada en valor de les varietats tradicionals valencianes de tomata. En primer lloc s'ha abordat la caracterització d'una col·lecció d'entrades de varietats valencianes de tomata. Per a la caracterització morfològica bruta d'aquestes varietats són de gran utilitat els descriptors de tomàquet convencional, però poden no ser pràctics per a la descripció precisa del fruit, necessària per distingir grups de varietats estretament relacionades. La ferramenta fenòmica Tomato Analyzer és una nova eina que proporciona múltiples dades de morfologia de la tomata a partir d'imatges escanejades de seccions de fruits. Es van caracteritzar 69 entrades de varietats locals de tomata de la regió de València (Espanya) corresponents

a vuit tipus varietals ('De Borseta', 'Cherry', 'Cor', 'De Penjar', 'Plana', 'De Pruna', 'Redona' i 'Valenciana') amb 64 descriptors convencionals i 38 característiques mesurades amb el Tomato Analyzer. S'han trobat diferències significatives entre les entrades assajades per a tots els caràcters avaluats, excepte cinc descriptors convencionals monomòrfics, que revelen una gran diversitat en la col·lecció. També es van trobar diferències significatives entre els tipus varietals per a 36 descriptors convencionals i 37 característiques del Tomato Analyzer. Els tipus 'De Borseta', 'Cherry', 'De Penjar', 'Plana' i 'De Pruna' van ser clarament diferents i cadascun d'ells va presentar moltes diferències significatives amb la resta de tipus. Els descriptors convencionals no distingien bé els tipus 'Cor', 'Redona' i 'Valenciana', però mitjançant els descriptors del Tomato Analyzer es distingeixen clarament 'Valenciana' dels tipus 'Cor' i 'Redona'. Una anàlisi de components principals multivariants va mostrar que, a excepció de sis accessions (8,7%), els diferents tipus varietals (incloent el 'Cor' i 'Redona', molt semblants) es representaven en àrees separades del gràfic PCA. Els resultats han demostrat que els descriptors combinats convencionals i de Tomato Analyzer juntament amb l'anàlisi PCA són una eina poderosa per a la caracterització i classificació de les varietats locals de tomàquet, així com per a la distinció entre tipus varietals relacionats. Això té implicacions importants per a la millora i la protecció de les varietats locals de tomàquet.

Com hem vist el germoplasma i materials de millora solen caracteritzar-se amb descriptors morfològics i agronòmics, que normalment haurien de tenir una gran heredabilitat. Malgrat l'ús generalitzat dels descriptors estandarditzats de tomata, hi ha poca informació dels efectes ambientals sobre els valors dels descriptors i sobre

la seva herència. Hem avaluat 12 entrades de tomata procedents de set tipus varietals en tres ambients diferents (cultiu convencional aire lliure, cultiu ecològic aire lliure i hivernacle) i els hem caracteritzat amb 36 descriptors. Es va trobar una àmplia gamma de variació per a la majoria dels descriptors, demostrant la seva utilitat per descriure els materials de tomata, la seva diversitat i relacions. L'anàlisi de la variació dels descriptors revela que, mentre que per a alguns descriptors amb un control genètic simple l'efecte entrada representa el 100% de la variació, per a altres com el rendiment per planta, només el 10,83% de la variació observada es deu a l'efecte d'entrada. Tot i que es van trobar diferències significatives entre els ambients en la majoria dels descriptors, incloent un rendiment molt més alt en l'entorn convencional de camp obert que, en els altres dos, l'efecte ambiental era baix per a la majoria dels caràcters. Tanmateix, l'efecte del genotipus \times ambient generalment va tenir una important contribució a l'estructura de variació de molts descriptors, i per a tres caràcters va tenir la major contribució al percentatge de la suma de quadrats. Com a resultat de l'estructura de variació, els valors d'heretabilitat són elevats ($> 0,7$) per només 10 descriptors, mentre que per a cinc és baix ($< 0,3$). L'anàlisi de components principals (PCA) revela que les projeccions en el gràfic de PCA d'una mateixa entrada que es cultiva en diferents entorns s'albiren junts a la mateixa àrea del gràfic PCA. Encara que els tipus varietals estan generalment separats clarament en el gràfic de PCA, s'integren en algunes ocasions entrades del mateix tipus varietal. Aquests resultats tenen implicacions importants per detectar duplicats de tomata i establir col·leccions nuclears, així com per analitzar germoplasma i materials de millora, quan s'utilitzen conjunts de dades sobre entrades avaluades en diferents ambients.

Dins de les tasques de la caracterització de varietats tradicionals i per tal de tindre un producte atractiu per al consumidor pot ser molt interessant associar característiques saludables com un elevat contingut en vitamines o substàncies antioxidants beneficioses per a la salut. Amb aquest motiu es van caracteritzar 69 entrades locals de tomata procedents de vuit tipus varietals per a caràcters de composició com contingut en distints sucres, àcids i antioxidants. Es va trobar una gran diversitat, amb diferències entre entrades de gairebé deu vegades per al contingut en licopè. Es van trobar diferències significatives entre els tipus varietals assajats per a la majoria dels trets. Els tipus varietals ‘Cherry’ i ‘De Penjar’ generalment presentaven major matèria seca, contingut de sòlids solubles, acidesa titulable, índex de gust, β -carotè, àcid ascòrbic, fenols totals i activitat antioxidant que els altres grups. Es van trobar amples rangs de variació dins de cada tipus varietal. Es van trobar correlacions positives entre caràcters relacionats amb el gust i els antioxidants. L'anàlisi de components principals multivariants confirma el perfil diferenciat dels grups ‘Cherry’ i ‘De Penjar’ i la gran variació dins de cada tipus varietal. Els resultats seran útils per a la diferenciació, millora i selecció de varietats locals de tomata amb propietats organolèptiques millorades. Davant d'aquest tipus de productes hortícoles el consumidor pot estar disposat a consumir pagant preus de vegades molt més elevats que els corresponents a les varietats hortícoles comercials.

Els estudis de caracterització i tipificació de les varietats tradicionals de tomata són imprescindibles per detectar factors que dificulten la seua posada en valor y foment de l'explotació comercial, així com per emprendre programes de millora de les mateixes per augmentar la seva competitivitat i rendibilitat. En aquest sentit, dins d'aquesta tesi

s'han caracteritzat 3 poblacions de tomata 'Valenciana d'El Perelló'. L'objectiu ha estat obtenir informació fenotípica de rellevància en aquest tipus de tomaca. Aquesta informació està sent molt útil per a la seua millora genètica. Així, hem pogut constatar que les poblacions emprades de tomata 'Valenciana d'El Perelló' es caracteritzen per presentar fruits del tipus "masclet" amb una freqüència elevada i un nivell productiu molt acceptable. La menor productivitat de les seleccions assajades en comparació amb el control comercial pareix ser deguda a una concentració de la producció en els 2-3 primers pomells de la planta; i una caiguda dràstica del quallat en els pomells superiors. No obstant, en el programa de selecció i millora de la tomata 'Valenciana d'El Perelló' que s'està realitzant es disposa de seleccions amb una freqüència de masclets més elevada i una distribució de quallat molt més uniforme.

La tomata tradicional valenciana és apreciada per les seues propietats organolèptiques que li atorguen un elevat interès comercial. En concret la tomaca 'Valenciana d'El Perelló' és cada vegada més apreciada en les superfícies comercials. Aquesta tomaca presenta diferents trets morfològics, agronòmics i de qualitat que la fan atractiva per al llaurador i per al consumidor. No obstant, de vegades presenta problemes d'uniformitat de producció, així com d'altres característiques importants. D'altra banda, aquesta varietat presenta una elevada susceptibilitat a malalties com la causada pel virus del mosaic de la tomaca (ToMV). Així, una forma molt interessant de potenciar aquest cultiu tan valencià, és obtenir varietats més uniformes així com resistent al ToMV. En aquest treball s'ha dut a terme un programa de selecció així como un programa de millora genètica de la resistència al ToMV de la tomaca 'Valenciana d'El Perelló'. Així, s'han derivant un conjunt de llinatges de tomata

‘Valenciana d’El Perelló’ amb distintes característiques morfoagronòmiques i amb major uniformitat. Per altra banda, s’ha portat a terme la introducció del gen *Tm2²* que confereix resistència al ToMV en cadascun d’aquests llinatges conservant les seues característiques de qualitat. En l’actualitat es disposa de 7 llinatges de tomata ‘Valenciana d’El Perelló’ portadors del gen *Tm2²* preparats per a ser transferits als llauradors per al seu cultiu.

Pel que fa a l’adaptació a les condicions agroclimàtiques locals de les varietats tradicionals, aquesta característica és fonamental per al desenvolupament de productes d’alt valor afegit que poden constituir alternatives rendibles per als agricultors d’aquestes mateixes zones geogràfiques. Així, les plantes de tomàquet de llarga durada, que es caracteritzen per portar l’al·lel *alc* al nucli NOR.NAC, han estat cultivades tradicionalment a la regió mediterrània. Aquests materials, coneguts com a tomata ‘De Penjar’, han evolucionat i estan adaptats a condicions de camp obert sota condicions de baix consum de recursos. No obstant això, el cultiu sota hivernacle s’està expandint degut a l’augment de la seua demanda. En aquesta tesi hem partit de la hipòtesi de que la gran diversitat de varietats de tomates del tipus ‘De Penjar’ i materials derivats siga útil per adaptar-se a aquestes noves condicions de cultiu. Així, s’han avaluat 12 varietats (set entrades tradicionals, tres seleccions i dos híbrids) que contenen la mutació *alc* en cultiu al aire lliure (OF) i en cultiu baix hivernacle (GH) i les hem avaluat per a 52 propietats morfològiques, agronòmiques, químiques i descriptors de composició química. Tots els descriptors, excepte sis morfològics, van ser variables. L’efecte varietat va ser el principal contribuent a la variació de la majoria dels caràcters morfològics, així com del pes del fruit, forma del fruit, matèria seca i sòlids

solubles. Tanmateix, es van trobar importants interaccions mediambientals i de genotipus \times ambient per 36 i 42 descriptors, respectivament. Els fruits de les plantes de GH tenien menys pes i fermesa i eren menys vermelles que les de OF, mentre que el rendiment en GH era un 35% menor en mitjana i la pèrdua de fruits diaris en la postcollita un 41% més que en OF. No obstant això, els fruits de GH tenien en mitjana una quantitat lleugerament més alta de matèria seca i contingut de sòlids solubles, activitat antioxidant, glucosa, fructosa i concentracions d'àcid ascòrbic, així com continguts més baixos en licopè i β -carotè que els de OF. L'anàlisi de components principals va separar clarament les varietats segons l'ambient de cultiu, encara que el patró de distribució de varietats en cadascun dels dos grups (GH i OF), tot i la forta interacció GxE per a molts descriptors, va ser similar. A més, els materials amb un origen comú es representen a la mateixa zona de cada clúster, i les seleccions i híbrids s'agrupen juntament amb les varietats tradicionals. Els resultats revelen un alt impacte de l'ambient de cultiu sobre les propietats morfològiques, agronòmiques, químiques i de composició química de les varietats de tomata tradicionals de llarga durada mediterrànies i suggereixen que es desenvolupen programes de millora específicament centrats en l'adaptació a les condicions d'hivernacle.

La tesi realitzada ha permès caracteritzar de forma precisa els principals tipus varietals de tomata tradicional als territoris valencians des d'un punt de vista morfoagronòmic, però també de composició nutritiva. Aquest estudi ha permès determinar aquells descriptors o caràcters més adients per a distingir entre tipus varietals. A més a més, s'ha avaluat la influència de l'ambient de cultiu sobre aquests caràcters i la seua utilitat a l'hora de catalogar les entrades de tomata tradicional. Continuant amb la

posada en valor de les varietats tradicionals valencianes de tomata s'ha desenvolupat un programa de millora de la tomata 'Valenciana d'El Perelló' per a una major uniformitat i resistència a la malaltia ocasionada pel ToMV. Resultat d'aquest programa, es disposa de materials amb resistència preparats per al seu cultiu. Finalment s'ha treballat en estudiar la possibilitat de la millora i desenvolupament de materials de varietats tradicionals, com els del tipus 'De Penjar', per al seu cultiu en hivernacle amb el motiu d'ampliar l'oferta d'aquest tipus varietal al llarg de l'any, tenint en compte la seua creixent demanda.

Summary

Traditional varieties are the result of the cultivation of a variety by the farmer in a given environment. In the different Valencian territories throughout the centuries the farmers were generating a valuable heritage constituted by a great diversity of traditional varieties of vegetables. The varieties developed were differentiated depending on the different Valencian agroclimatic conditions and the different types of selection applied by the farmers in each locality or cultivation area. In this process, the farmers took into account, in a very important way, the organoleptic quality, that is to say, the taste as an outstanding factor in the selection of the seeds that they used for each crop cycle. In this sense, these varieties have a great value as ethnobotanical heritage of a country, and as such should be conserved. Also as plant genetic resources they constitute an excellent working material for the breeder. However, many of these varieties are grown by farmers of advanced age and with a very high risk of disappearance in the short term. That is to say, many of the traditional Valencian varieties of vegetables are in a real danger of disappearing.

For the conservation of plant genetic resources, it is considered essential to complement *ex situ* conservation in germplasm banks, with *in situ* conservation. This type of conservation can be generalized in the Valencian fields if we are able to value the traditional varieties of vegetables in their areas of origin, through the recovery of their commercial exploitation. To value these varieties has a key importance win consumer loyalty to them, based on exquisite internal quality characteristics. Increasingly there are associations of producers and cooperatives that bet on putting on the market products of exceptional organoleptic quality. It is precisely these characteristics of flavor and

quality that serve farmers to present the consumer with an elite, differentiated and unique food product. Paradoxically, in these cases the farmers rely on external characteristics, fundamentally morphological, to emphasize the unique character of their product. This is the case of the ribbing in the tomato fruit of the traditional variety 'Mutxamel' or the pointing of the fruit in the variety 'Valenciana'. The importance of tomato cultivation in Valencia favoured the selection made by farmers for decades of years and the development of many traditional varieties, which are characterized by their wide diversity and organoleptic quality, such as what we know today as 'Valenciana', 'Mutxamel', 'De Pruna', 'Del Pebre', 'De Penjar' and 'De Borseta'. However, there are many local types that are difficult to catalog.

The work carried out in this thesis aims to contribute to the valorisation of the traditional Valencian tomato varieties. In the first place, the characterization of a collection of Valencian tomato variety accessions is addressed. For the gross morphological characterization of these varieties, the conventional tomato descriptors are very useful, but they may not be practical for the precise description of the fruit, necessary to distinguish groups of closely related varieties. The Tomato Analyzer Phenometric Tool is a new tool that provides multiple tomato morphology data from scanned images of fruit sections. Sixty-nine accessions of local tomato varieties from the region of Valencia (Spain) corresponding to eight varietal types were characterized ('De Borseta', 'Cherry', 'Cor', 'De Penjar', 'Plana', 'De Pruna', 'Redonda' and 'Valenciana') with 64 conventional descriptors and 38 characteristics measured with the Tomato Analyzer. Significant differences were found between the accessions tested for all the characters evaluated, except five conventional

monomorphic descriptors, which reveal a great diversity in the collection. Significant differences were also found between the varietal types for 36 conventional descriptors and 37 characteristics of the Tomato Analyzer. The types 'De Borseta', 'Cherry', 'De Penjar', 'Plana' and 'De Pruna' were clearly different and each of them presented many significant differences with the rest of types. The conventional descriptors did not distinguish well the types 'Cor', 'Redona' and 'Valenciana', but by means of the descriptors of the Tomato Analyzer they clearly distinguish 'Valenciana' of the types 'Cor' and 'Redona'. An analysis of multivariate principal components showed that, with the exception of six accessions (8.7%), the different varietal types (including the 'Cor' and 'Redona', very similar) were represented in separate areas of the PCA plot. The results have shown that the combined conventional and Tomato Analyzer descriptors together with the PCA analysis are a powerful tool for the characterization and classification of local tomato varieties, as well as for the distinction between related varietal types. This has important implications for the improvement and protection of local tomato varieties.

As we have seen, germplasm and improvement materials are usually characterized by morphological and agronomic descriptors, which should normally have a high heritability. Despite the widespread use of standardized tomato descriptors, there is little information about the environmental effects on the values of the descriptors and their inheritance. We have evaluated 12 tomato accessions from seven varietal types in three different environments (conventional open field cultivation, open field ecological cultivation and greenhouse) and we have characterized them with 36 descriptors. A wide range of variation was found for most of the descriptors, demonstrating its usefulness to describe tomato materials,

their diversity and relationships. The analysis of the variation of the descriptors reveals that while for some descriptors with a simple genetic control the input effect represents 100% of the variation, for others such as the yield per plant, only 10.83% of the variation observed is due to the input effect. Although significant differences were found between the environments of most of the descriptors, including a much higher performance in the conventional open field environment than, in the other two, the environmental effect was low for most of the characters. However, the effect of the genotype \times environment generally had an important contribution to the structure of variation of many descriptors, and for three characters it had the greatest contribution to the percentage of the sum of squares. As a result of the variation structure, heritability values are high (> 0.7) for only 10 descriptors, while for five it is low (< 0.3). The principal components analysis (PCA) reveals that the projections in the PCA graph of the same input that is grown in different environments glimpse together in the same area of the PCA graph. Although the varietal types are generally clearly separated in the PCA chart, accessions of the same varietal type are sometimes integrated. These results have important implications for detecting tomato duplicates and establishing nuclear collections, as well as for analysing germplasm and improvement materials, when data sets are used on inputs evaluated to different environments.

Within the tasks of characterizing traditional varieties and to have an attractive product for the consumer it can be very interesting to associate healthy characteristics such as a high content of vitamins or antioxidant substances beneficial to health. With this aim, 69 local tomato accessions from eight varietal types were characterized for compositional characters

as content in different sugars, acids and antioxidants. A great diversity was found, with differences between accessions of almost ten times for the lycopene content. Significant differences were found between the varietal types tested for most of the shots. The 'Cherry' and 'De Penjar' varietal types generally had higher dry matter, soluble solids content, titratable acidity, taste index, β -carotene, ascorbic acid, total phenolic and antioxidant activity than the other groups. Wide ranges of variation were found within each varietal type. Positive correlations were found between characters related to taste and antioxidants. The analysis of multivariate main components confirms the differentiated profile of the 'Cherry' and 'De Penjar' groups and the great variation within each varietal type. The results will be useful for the differentiation, improvement and selection of local tomato varieties with improved organoleptic properties. Faced with this type of horticultural products, the consumer may be willing to consume, paying sometimes much higher prices than those corresponding to commercial horticultural varieties.

Characterization and typification studies of traditional tomato varieties are essential to detect factors that hinder their value enhancement and promotion of commercial exploitation, as well as to undertake programs to improve them to increase their competitiveness and profitability. In this sense, within this thesis 3 populations of tomato 'Valenciana d'El Perelló' have been characterized. The objective has been to obtain relevant phenotypic information in this type of tomato. This information is being very useful for its genetic improvement. Thus, we have been able to verify that the employed populations of tomato 'Valenciana d'El Perelló' are characterized to present fruits of the type "masclat" with a high frequency and a very acceptable productive level.

The lower productivity of the selections tested in comparison with the commercial control seems to be due to a concentration of the production in the first 2-3 bunches of the plant; and a drastic fall of the fruit set in the upper bouquets. However, in the program of selection and improvement of the tomato 'Valenciana d'El Perelló' that is being made, selections are available with a higher frequency of "masquets" and a much more uniform fruit set distribution.

The traditional Valencian tomato is appreciated for its organoleptic properties that give it a high commercial interest. In particular the tomato 'Valenciana d'El Perelló' is increasingly appreciated in commercial areas. This tomato presents different morphological, agronomic and quality traits that make it attractive to the farmer and the consumer. However, sometimes it presents production uniformity problems, as well as other important characteristics. On the other hand, this variety has a high susceptibility to diseases such as that caused by the *Tomato mosaic virus* (ToMV). Thus, a very interesting way to promote this very Valencian crop, is to obtain more uniform varieties as well as resistant to ToMV. In this work a selection program has been carried out as well as a program of genetic improvement of ToMV resistance of the tomato 'Valenciana d'El Perelló'. Thus, a set of tomato lineages 'Valenciana d'El Perelló' with different morphoagronomic characteristics and with greater uniformity have been derived. On the other hand, the introduction of the *Tm2²* gene that confers resistance to the ToMV in each of these lineages, preserving their quality characteristics, has been carried out. Currently there are 7 lineages of tomato 'Valenciana d'El Perelló' carrying the *Tm2²* gene prepared to be transferred to farmers for cultivation.

Regarding the adaptation to the local agroclimatic conditions of the traditional varieties, this characteristic is fundamental for the development of products of high added value that can constitute profitable alternatives for the farmers of these same geographic zones. Thus, long-lived tomato plants, which are characterized by carrying the *alc* allele to the NOR.NAC core, have traditionally been cultivated in the Mediterranean region. These materials, known as ‘De Penjar’ tomatoes, have evolved and are adapted to open field conditions under conditions of low resource consumption. However, greenhouse cultivation is expanding due to the increase in demand. In this thesis we have started from the hypothesis that the great diversity of varieties of tomatoes of the ‘De Penjar’ type and derived materials is useful to adapt to these new growing conditions. Thus, 12 varieties (seven traditional accessions, three selections and two hybrids) containing the *alc* mutation in outdoor culture (OF) and in greenhouse culture (GH) have been evaluated and we have evaluated them for 52 morphological, agronomic properties, chemical and chemical composition descriptors. All the descriptors, except six morphological ones, were variable. The variety effect was the main contributor to the variation of most of the morphological characters, as well as the weight of the fruit, shape of the fruit, dry matter and soluble solids. However, important environmental and genotype \times environment interactions were found for 36 and 42 descriptors, respectively. The fruits of the GH plants had less weight and firmness and were less red than those of OF, while the yield in GH was 35% less in average and the loss of daily fruits in the postharvest 41% more than in OF. However, the fruits of GH had on average a slightly higher amount of dry matter and soluble solids content, antioxidant activity, glucose, fructose and ascorbic acid concentrations, as well as

lower contents of lycopene and β -carotene than those of OF. The principal components analysis clearly separated the varieties according to the cultivation environment, although the pattern of distribution of varieties in each of the two groups (GH and OF), despite the strong $G * E$ interaction for many descriptors, was similar. In addition, materials with a common origin are represented in the same area of each cluster, and selections and hybrids are grouped together with traditional varieties. The results reveal a high impact of the cultivation environment on the morphological, agronomic, chemical and chemical composition properties of the traditional Mediterranean long-term tomato varieties and suggest that programs specifically focused on adaptation to greenhouse cultivation be developed.

The thesis made it possible to accurately characterize the main varietal types of traditional tomato Valencian territories from a morphoagronomic point of view, but also of nutritional composition. This study has allowed to determine those descriptors or more suitable characters to distinguish between varietal types. In addition, the influence of the cultivation environment on these characters and its usefulness when characterizing traditional tomato accessions has been evaluated. Continuing with the valorisation of the traditional Valencian tomato varieties, a program to improve the tomato 'Valenciana d'El Perelló' has been developed for greater uniformity and resistance to the disease caused by ToMV. A result of this program there are available materials with resistance prepared for cultivation. Finally, work has been done on the feasibility of improving and developing materials of traditional varieties, such as the 'De Penjar' type, for growing in the greenhouse with the

purpose of expanding the supply of this varietal type throughout the year, taking in account a growing demand.

ÍNDICE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	7
RESUMEN.....	9
RESUM.....	18
SUMMARY	27
ÍNDICE.....	37
INTRODUCCIÓN	45

Las variedades locales en la mejora genética de plantas. El tomate...47

1.- Introducción.....	48
2. Principales variedades locales.....	50
3. Variedades locales de tomate conservadas en colecciones.....	56
4. Variedades locales de tomate con interés para su recuperación	58
5. Potencial de las variedades locales de tomate en mejora.....	62
6. Logros y perspectivas	66
7. Agradecimientos.....	76
8. Referencias	76

Posada en valor de les varietats tradicionals de tomaca valencianes...83

1.-Perspectiva històrica de la horticultura valenciana.....	84
2.- Les varietats tradicionals d'hortalisses valencianes.	90
3.- Les varietats tradicionals de tomaca valencianes.	94
4.- La posada en valor de les varietats tradicionals de tomaca valencianes.....	106
5.- Tomates tradicionals de la Vall d'Albaida	114

Referències bibliogràfiques.....	121
OBJETIVOS.....	125
RESULTADOS.....	129
CARACTERIZACIÓN DE VARIEDADES TRADICIONALES VALENCIANAS DE TOMATE.....	131

Capítulo 1: Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer..... 133

Introduction.....	135
Material and Methods	138
Results	145
Discussion.....	159
Acknowledgements.....	163
References	163

Capítulo 2. Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups..... 170

Abstract.....	171
1. Introduction.....	171
2. Material and Methods	175
3. Results	179
4. Discussion.....	189
5. Conclusions	193
Acknowledgements.....	194

References.....	194
SELECCIÓN Y MEJORA	199
Capítulo 1. Estudi de la distribució de quallat en distintes seleccions masals de la “Tomaca Valenciana d’El Perelló”.....	201
Paraules clau	202
Abstract:	203
Keywords	203
1.- Introducció.	204
2.- Material i mètodes.	206
3.- Resultats i discussió.....	207
4.- Conclusions.	214
Agraïments	214
Referències bibliogràfiques	215
Capítulo 2. Millora genètica de la tomaca ‘valenciana d’El Perelló’ per a resistència al virus del mosaic de la tomaca (<i>Tomato mosaic virus</i>, ToMV)	217
Resum:.....	218
Paraules clau	218
Abstract:	219
Keywords:.....	219
1.- Introducció.	220
2.- Material i mètodes.	221
3.- Resultats i discussió.....	227
4.- Conclusions.	232
Agraïments	233

Referències bibliogràfiques	233
EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE DESCRIPTORES DE TOMATE PARA LA CARACTERIZACIÓN DE VARIEDADES LOCALES DE TOMATE.....	235

Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions .. 237

Abstract.....	238
Keywords:	239
1. Introduction.....	239
2. Material and methods.....	242
3. Results	252
4. Discussion.....	265
5. Conclusions	269
Acknowledgements.....	270
References	270

EVALUACIÓN DEL EFECTO GXE EN VARIEDADES TRADICIONALES DE TOMATE.....	277
---	------------

Insights into the adaptation to greenhouse cultivation of the traditional Mediterranean long shelf-life tomato carrying the *alc* mutation: A multi-trait comparison of landraces, selections and hybrids in open field and greenhouse

Keywords	281
Introduction.....	281
Materials and methods	285

Results	292
Discussion	311
Acknowledgements	318
References	318
DISCUSIÓN	325
CONCLUSIONES	365

INTRODUCCIÓN

Las variedades locales en la mejora genética de plantas. El tomate.

Salvador Soler¹, María Figàs¹, María José Díez¹, Antonio Granell², Jaime Prohens¹.

¹Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana (COMAV), Universitat Politècnica de València, Camí de Vera, 14. 46022 València.

²Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Universitat Politècnica de València, Camí de Vera, 14. 46022 València.

Cita: Soler, S., Figàs, M.R., Díez, M.J., Granell, A. y Prohens, J. (2016). El tomate, p.381-403. En: José Ignacio Ruíz de Galarreta, Jaime Prohens y Roberto Tierno (eds.), Las variedades locales en la mejora genética de plantas. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, 480 pp.

<https://doi.org/10.15835/nbha46110936>

1.- Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) no fue conocido en Europa hasta que lo trajeron los españoles después de su llegada a América (Rick, 1976). Fue cultivado inicialmente sólo como planta ornamental, porque sus frutos eran considerados venenosos (Costa y Heuvelink, 2005). Esto retrasó su implantación como cultivo de importancia económica en muchos países durante casi dos siglos (Carravedo y Ruiz, 2005). Sin embargo, desde mediados del siglo XVI, era cultivado y consumido en Europa del sur, difundiéndose por el noroeste de Europa a finales del siglo XVIII (Costa y Heuvelink, 2005). Más tarde se extendió por el resto de Europa. Así, se aprecia gran diversidad de formas, tamaños y colores en las representaciones de los herbarios de la época. Petrus Matthioli (1501-1577), hizo en 1554 una de las primeras descripciones del tomate, haciendo referencia a su uso en la gastronomía de la época (Carravedo y Ruiz, 2005). Boutelou y Boutelou (1801) publicaron en su Tratado de la Huerta: “los tomates se cultivan en todas las huertas y jardines de España con notable abundancia” mientras que “en los países extranjeros es una planta aún poco conocida”. En la segunda parte del siglo XVIII, se tuvo noticias de su uso cocido para hacer salsas en Francia y Alemania. A lo largo del siglo XIX su utilización se generalizó en toda Europa (Carravedo y Ruiz, 2005).

A partir de las primeras formas de tomate introducidas en España en el siglo XVI fueron originándose las distintas variedades locales o tradicionales que hoy conocemos. Estas son el resultado de su cultivo continuado por el agricultor en un determinado ambiente. Este proceso continuo de evolución basado en la selección y adaptación durante cientos

de años por parte de los agricultores de las diferentes zonas hortícolas españolas ha posibilitado el desarrollo de una serie de variedades locales de tomate con unas características peculiares. En este sentido, estas variedades tienen un gran valor como patrimonio etnobotánico y recurso genético que merece la pena conservar (Zeven, 2002). Muchas de estas variedades no sólo se caracterizan por unas excelentes propiedades organolépticas, sino que tienen una morfología deseable al contar, en el caso de algunas variedades, con corazones de gran tamaño y lóculos pequeños que aportan solidez y consistencia al fruto. Otras veces han sido seleccionadas por presentar frutos ahuecados para ser rellenados o por tener una carne suave y melosa. La mayoría de estas variedades tiene un carácter marcadamente local y con un riesgo de desaparición muy elevado. Hay que tener en cuenta que su conservación depende, en muchos casos, de un número reducido de agricultores a tiempo parcial y/o de avanzada edad, que desde siempre han cultivado este tipo de variedades en pequeñas explotaciones. El hecho de que estas explotaciones tengan una escasa o nula proyección comercial (autoconsumo), ocasiona que el riesgo de desaparición de estos materiales sea aún mayor. Afortunadamente, muchos de ellos se encuentran conservados en bancos de germoplasma.

La conservación *in situ* y la valorización de las variedades tradicionales pasa por potenciar su cultivo en sus zonas de origen (Figàs et al., 2015a). La generalización de este tipo de conservación en nuestro país depende de que se tenga la intención y capacidad de poner en valor las variedades tradicionales de tomate en nuestros territorios agrícolas, mediante la recuperación de su explotación comercial, y a la vez contribuir al mantenimiento de la rentabilidad agraria de explotaciones agrícolas (Casañas, 2006; Soler et al., 2010). En cuanto a la adaptación a las

condiciones agroclimáticas locales, esta característica es fundamental para el desarrollo de productos de alto valor añadido que pueden constituir alternativas rentables para los agricultores de esos territorios (Casañas, 2006). Así, las variedades locales de tomate son un material vegetal muy idóneo para el desarrollo de productos asociados a marcas de calidad o denominaciones de origen (Escrivá et al., 2010; Prohens et al., 2016), generando productos de alto valor añadido en el mercado.

2. Principales variedades locales

El tomate es un cultivo fenotípicamente muy diverso, presentando frutos con distintas formas, tamaños, colores, sabores y texturas. Una vez en Europa, el cultivo se adaptó a unas nuevas condiciones ambientales, y también a los gustos y usos de los nuevos agricultores y consumidores. Los distintos procesos de adaptación, intercambios entre agricultores, selecciones de poblaciones heterogéneas, hibridaciones, etc., produjeron una diversificación de formas y tipos. Así, se desarrollaron diversas variedades de tomate adaptadas a cada una de las múltiples condiciones agroclimáticas de nuestro país y también a los gustos de los distintos pueblos y culturas de España.

En las últimas décadas, se ha realizado un esfuerzo considerable en la caracterización de colecciones de germoplasma de tomate tradicional en distintas comunidades autónomas (Tabla 1). Estos trabajos han permitido identificar y catalogar los principales tipos varietales de tomate tradicional presentes a lo largo de la geografía española. En la Tabla 2 aparece una relación de las denominaciones varietales de tomate local más emblemáticas o conocidas en cada una de las comunidades autónomas.

Hay que tener en cuenta que cuando analizamos en detalle los catálogos publicados en algunas comunidades autónomas, el número de denominaciones utilizadas es mucho mayor. Esto es debido a que un determinado tipo varietal como el “Morado”, frutos con color rosado fuerte o incluso marrón oscuro, puede aparecer citado como “Morado”, “Negrillo” o “Moruno”, entre otras denominaciones (Moreno et al., 2010). En este sentido, en la Tabla 2 se recogen las denominaciones generales y las más emblemáticas o consolidadas dentro de la horticultura española.

En algunas comunidades existe un gran número de tipos varietales cultivados, como es el caso de Andalucía, Catalunya, Murcia o València. Éstas presentan áreas agrícolas más o menos dispersas, algunas de ellas de gran tradición histórica. Son zonas con una proyección hortícola destacada y donde se han ido originando, unas veces, por selección y diferenciación, y otras, por introducción desde otros lugares, un acervo considerable de variedades locales de características muy diversas.

También en estos territorios la climatología más benigna para el cultivo del tomate ha ocasionado una mayor proliferación de variedades. En otros casos, con una tradición hortícola muy importante, la cantidad de tipos varietales es menor, debido a una menor intensidad del trasiego de materiales vegetales y unas condiciones climáticas menos ventajosas. Es el caso de Aragón, con 4 tipos varietales principales, aunque destaca el tipo Rosa de Barbastro con un impacto económico muy importante en la actualidad (Aguiar et al., 2014).

Tabla 1.- Estudios de caracterización de variedades tradicionales de tomate en España en los últimos 20 años.

Comunidad Autónoma	Número de entradas estudiadas	Referencia
Andalucía	39	Navarro, 2011
Andalucía	4	Díaz del Cañizo et al., 2000
Andalucía	4	García et al., 2000
Andalucía	6	Soriano et al., 2000
Andalucía	3	González et al., 2002
Andalucía	3	Jiménez et al., 2010
Aragón	163	Carravedo, 2006
Aragón	63	Carravedo, 2012
Balears	171	Bota et al., 2014
Canarias	6	Amador et al., 2010
Canarias	59	Amador et al., 2012
Cantabria	4	García et al., 2013
Cantabria	4	García et al., 2014
Castilla-La Mancha	106	Moreno et al., 2006
Galicia	13	Rivera et al., 2010
Galicia	17	Taboada et al., 2015
Murcia	14	Egea-Sánchez et al., 2008a
Murcia	10	Egea-Sánchez et al., 2008b
Navarra	22	Aguado et al., 2006
País Vasco	93	Carravedo y Ruiz, 2005
País Vasco	12	Sauca y Ruiz, 2006
València	8	Domínguez, 1998
València	103	Cebolla-Cornejo, 2005
València	16	García-Martínez et al., 2013
València	103	Cebolla-Cornejo et al., 2013
València	70	Figàs et al., 2014
València	166	Cortés-Olmos et al., 2015

Un caso distinto es el de Canarias con una elevada proyección económica en el cultivo del tomate y con 9 tipos varietales (Tabla 2). En esta región, parece ser que las variedades locales proceden del cruzamiento entre variedades de origen inglés y americano, y posterior diferenciación y selección por parte de los agricultores, Así se generaron lo que en Canarias denominan “variedades antiguas”, “del país” o “del terreno” (Amador et al., 2012).

Hay algunas comunidades en que la diversidad de variedades tradicionales es menor. Es el caso de Cantabria, Asturias, Rioja, Extremadura, Castilla-La Mancha o Castilla-León. En todos estos casos hay que tener en cuenta que la climatología juega en contra de la proliferación de las zonas hortícolas y por tanto de la diversidad de variedades locales. Un caso especial lo constituye Balears. En estas islas existen distintos tipos de tomate como el “De Ramellet”, “Banyalbufar”, “Tres Cantos” o “De Pruna” este último también conocido con este nombre en la Comunitat Valenciana. Sin embargo, el primero es el que más abunda con una gran variedad de morfologías y tamaños de fruto (Bota et al., 2014).

Tabla 2.- Tipos varietales de tomate tradicional más representativos de cada una de las comunidades autónomas del estado español.

Comunidad Autónoma	Tipo Varietal	Número de Tipos Varietales
Andalucía	Caqui, Colgar, Conserva, Corazón de toro, Huevo de toro, Muchamiel, Pimiento, Roteño.	8
Aragón	Conserva, Morado, Rosa de Barbastro, Zaragozaano	4
Asturias	Cherry asturiano, De la Vega de Calamocha	2
Balears	De Ramellet, Banyalbufar, Tres Cantos, De Pruna	4
Canarias	Cagón, Canario, Conserva, Huevo de Gallo, Manzana negra, Moscatel, Perita, Martina, De Caña Morada	9
Cantabria	Tomate liso redondo, tomate acostillado, tomate grande, tomate rosa.	4
Castilla-La Mancha	Conserva, Moruno, Pimiento	3
Castilla-León	Amarillo, Conserva,	2
Catalunya	Bombilla, Colgar, Conserva, Esquena verd, Montserrat, Palosanto, Pare Benet, Poma, Pometa, Tres Caires	10
Extremadura	Colgar, Pera	2

Comunidad Autónoma	Tipo Varietal	Número de Tipos Varietales
Galicia	Avoa, Amarante, Apementado, Convento, Corazón de Miño, Negro, Monforte, De Corno.	8
Rioja	Acorazonado	1
Madrid	Gordo, Picudo, Pera, Morado, Moruno	4
Murcia	Conserva, Baladre, Huevo de Paloma, Muchamiel, Pera, Pimiento	6
Navarra	Corazón de Fitero, Cuarenteno, Kilo, Morado,	4
País Vasco	Borratxo de Aretxabaleta, Mokoluçe, Pera	3
Valenciana	Amarillo, Colgar, Conserva, Cuarenteno, Baladre, Mutxamel, Pruna, Pimentó, Valenciano	9

Cuando hablamos de variedades tradicionales de tomate es necesario tener en cuenta la denominación de las mismas. Así, muchas veces se le denomina con distintos nombres a una misma variedad local o con un mismo nombre a variedades con características muy parecidas pero no similares. Es el caso del tomate de conserva. Este tipo varietal obedece, normalmente a un tomate con forma ovoide o elíptica de color rojo intenso. Sin embargo, en unas comunidades autónomas se le denomina “De Pera” o “Perita”, como en Canarias, Murcia, Extremadura o País Vasco; “De Conserva”, como en Andalucía, Aragón, Canarias, Castilla-La Mancha, Castilla-León, Catalunya, Balears, Murcia o València y en otros sitios se le puede denominar incluso “De Pruna”, caso de comunidades como la Valenciana, Catalunya e Illes Balears. Otro caso es el de los tomates morados o rosas que reciben distintas denominaciones dependiendo de la comunidad autónoma, incluso dentro de una misma comunidad (Moreno et al., 2000). Así, podemos encontrar tomates morados en Aragón, Castilla-La Mancha, Madrid, Navarra y València; pero en alguna de estas comunidades, como en Castilla-La Mancha se les denomina “Morunos”, al igual que en València, donde también se les suele denominar “Elxeros” (Cebolla-Cornejo, 2005).

Otro problema que se produce durante la catalogación de variedades locales de tomate es que muchas veces no se corresponden los resultados de caracterización con los datos de pasaporte, obtenidos durante las labores de prospección y recolección del germoplasma. Así, en distintos trabajos de caracterización y catalogación podemos ver como entradas recolectadas como tomate “Moruno” corresponden con frutos morados o morados-rosáceos, pero también se asocia este nombre a frutos con una clara coloración roja. Otras veces se plantean ambigüedades cuando el nombre del tipo varietal hace referencia a su origen territorial. Así, en algunas localidades del interior de València, se pueden encontrar variedades locales denominadas por los agricultores como “Valenciano” o “Tomata Valenciana”. Cuando se caracterizan estas entradas, hay ocasiones en que la descripción obtenida no corresponde con este tipo varietal, caracterizado por presentar frutos grandes, carnosos y apuntados. No obstante, el agricultor no faltaba a la verdad cuando decía que el tomate que cultivaba era “Valenciano”.

La coexistencia de distintas denominaciones para un mismo tipo varietal hace necesaria, sobre todo para la recuperación y promoción de las variedades locales de tomate, una rigurosa identificación y catalogación de los tipos presentes en cada territorio o comunidad autónoma, a partir de las colecciones de germoplasma existentes. A este respecto es importante la realización de estudios sobre la diversidad que presentan las variedades locales de tomate y sus consecuencias sobre las actividades a realizar para la conservación de las mismas mediante su cultivo (García-Martínez et al., 2012; Figàs et al., 2015a; Cortes-Olmos et al., 2015).

3. Variedades locales de tomate conservadas en colecciones

Un trabajo prioritario para la recuperación y promoción de las variedades locales de tomate es la catalogación de las colecciones de germoplasma a través de su caracterización agronómica y morfológica. Esto permite, como resultado inmediato, el establecimiento de los tipos varietales existentes en los territorios o zonas colectadas. Será de interés también establecer a partir de los datos de pasaporte de las colecciones existentes, y de las caracterizaciones realizadas, la necesidad o conveniencia de prospectar y recolectar otros territorios.

Según datos disponibles en el Inventario Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación, en las colecciones del Programa Nacional de Conservación y Utilización de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación (PCURF) en España se conservan 4132 accesiones de tomate. Estas entradas se encuentran distribuidas en distintas colecciones conservadas en distintas instituciones y organismos como el COMAV (1560 entradas), CITA (1382 entradas), La Mayora (677 entradas), CCBAT (74 entradas), IMIDRA (10 entradas) e IRFAP (54 entradas) (Tabla 3).

Estas cifras se reducen algo si nos fijamos en el número de entradas de estas colecciones que efectivamente corresponden a variedades locales de tomate, con 2973 entradas de variedades locales de tomate de toda España. Además de éstas, hay otras colecciones mantenidas por asociaciones, fundaciones, redes de intercambio de semillas, y ONGs.

Tabla 3.- Colecciones de germoplasma de tomate (*S. lycopersicum* L.) en España.

Institución	Nº de entradas	
	Datos Inventario	Otras colecciones
COMAV ¹	1560	
CITA ²	1382	
IHSM LA MAYORA ³	677	
FMA-UPC ⁴	375	
CCBAT ⁵	74	
IRFAP ⁶	54	
IMIDRA ⁷	10	
UCLM ⁸	-	280 ¹³
BAGERIM-IMIDA ⁹	-	205 ¹⁴
UIB-DB ¹⁰	-	198
CIAM ¹¹	-	19 ¹⁵
CIFA ¹²	-	15 ¹⁶
TOTAL	4132	

¹Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana, Universitat Politècnica de València.

²Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.

³Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora" (Málaga).

⁴Fundació Miquel Agustí - Universitat Politècnica de Catalunya.

⁵Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife.

⁶Institut de Recerca i Formació Agrària i Pesquera de Les Illes Balears (Mallorca).

⁷Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario.

⁸Universidad de Castilla-La Mancha.

⁹Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

¹⁰Universitat de les Illes Balears-Departament de Biologia.

¹¹Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.

¹² Centro de Investigación y Formación Agraria.

¹³Comunicación personal Marta Moreno.

¹⁴Comunicación personal Elena Sánchez.

¹⁵Comunicación personal Alfredo Taboada.

¹⁶Comunicación personal Eva García Méndez.

4. Variedades locales de tomate con interés para su recuperación

4.1. La conservación de las variedades tradicionales de tomate

A partir de la década de 1960, teniendo en cuenta el nuevo modelo de agricultura intensiva que acabó imperando en España, hubo que aumentar las producciones de tomate y suministrar producto fuera de estación, con el fin de satisfacer el crecimiento de la demanda durante todo el año. Esto generó la necesidad de disponer de variedades comerciales competitivas altamente productivas. Así, los primeros trabajos de mejora dieron lugar a variedades híbridas F1 (Nuez, 2001). Aunque el cultivo de este tipo de variedades permite alcanzar producciones muy elevadas, y disponer de producto fresco en todas las estaciones del año, ha supuesto en las últimas décadas el desplazamiento y desaparición de muchas variedades tradicionales de tomate.

Se plantea ahora el reto de recuperar una variabilidad genética perdida en gran medida en los últimos 15-20 años, debido al cultivo por parte de los agricultores de variedades comerciales mejoradas; fundamentalmente híbridas F1. Así, en distintas comunidades autónomas ha ido aumentando en los últimos 10-20 años el interés en la recuperación y utilización de las variedades tradicionales autóctonas de tomate. En esta labor, es muy interesante aprovechar la rusticidad y el grado de adaptación de las variedades tradicionales al entorno donde se han desarrollado. Esta facultad, las convierte en un material muy adecuado para su cultivo en sus zonas de origen y así poder conservarlas de forma activa a través de su explotación comercial (Lázaro et al., 2014). Para potenciar la conservación de estas variedades tradicionales es muy interesante recuperar su cultivo en sus zonas de origen dándole un valor añadido (Figàs et al., 2015b).

Además, este tipo de conservación permite la interacción entre estas variedades, el medio ambiente y el agricultor.

La puesta en valor de las variedades tradicionales de tomate en España pasa en primer lugar por una labor integral de caracterización agronómica, morfológica, nutricional y de valoración sensorial de los materiales prospectados en las distintas comunidades autónomas. Esta caracterización permitirá por una parte la catalogación de los materiales existentes e identificación de los más prometedores para su puesta en cultivo y por tanto su recuperación. Sin embargo, en esta identificación es muy común encontrar duplicados. Además, aunque se ha realizado y se está realizando una labor muy importante de publicación de catálogos de variedades locales en algunas comunidades autónomas como en el País Vasco (Carravedo y Ruiz, 2005), Aragón (Carravedo, 2006; Carravedo, 2012), Castilla-La Mancha (Moreno et al., 2006), Canarias (Amador et al., 2012) o Madrid (Lázaro et al., 2014); aún existen muchas regiones sin tener un inventario de los materiales colectados y zonas prospectadas. Disponer de esa información nos permitirá conocer aquellas zonas con una prospección deficiente o ausente, sobre las que habrá que trabajar e identificar los mejores materiales de tomate tradicional con los cuales acometer programas de valorización.

Una cuestión importante en la recuperación del cultivo de las variedades tradicionales es su elevada susceptibilidad a enfermedades. Esto es especialmente importante en el caso de las enfermedades de nueva introducción frente a las cuales no están adaptadas. Así, aunque las variedades locales de tomate tienen la ventaja de ser materiales caracterizados por una muy buena calidad organoléptica y otros caracteres deseables como la carnosidad, suelen presentar una generalizada

susceptibilidad a enfermedades de origen fúngico (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* o *Verticillium dahliae*) y especialmente a enfermedades de etiología viral (Soler et al., 2010). Para la recuperación y promoción de las variedades tradicionales de tomate, es pues necesaria la puesta en marcha de programas de mejora genética de la resistencia a las enfermedades que limiten su cultivo en sus zonas de origen y de explotación comercial (García-Martínez et al., 2012, 2015).

4.2. Las variedades tradicionales de tomate como una alternativa rentable

En el contexto agrícola actual, los horticultores españoles que se dedican al cultivo de variedades locales de tomate, con parcelas de relativamente reducido tamaño y con elevados costes de mano de obra, se ven desbordados por la oferta de producciones de otros países o zonas productoras españolas con menores costes de producción, frente a las que es muy difícil competir. Sin embargo, se ha producido en los mercados un cambio de una agricultura de cantidad a una agricultura de calidad (Casañas, 2006). Los consumidores españoles valoran de forma creciente la calidad interna de las hortalizas en lugar de la calidad visual o aspecto exterior y la producción local, sobre todo si el precio de venta es razonablemente no mucho más elevado. Esta situación se ve favorecida por la deficiente calidad organoléptica de las actuales variedades comerciales de tomate (Cebolla-Cornejo, 2005).

En este contexto, es crucial para el agricultor disponer de la fidelidad del consumidor hacia su producto (variedad local), en base a unas características morfológicas que permitan diferenciarlo de los demás productos existentes en el mercado, pero también por unas características

de calidad interna, organoléptica y si es posible nutricional y nutracéutica (contenido en vitamina C, licopeno y compuestos fenólicos). Estas últimas características pueden contribuir a la diferenciación del producto y sobre todo valorizarlo, frente a los demás con los que compite en el mercado. Así, cada vez más, existen asociaciones de productores y cooperativas que apuestan por poner en el mercado productos de calidad organoléptica excepcional. Es precisamente estas cualidades de sabor y calidad las que sirven a estos agricultores para presentar al consumidor un producto alimenticio de élite, diferenciado y único. Como se ha citado, los agricultores se basan en características externas, fundamentalmente morfológicas, para enfatizar el carácter único de su producto. Es el caso del acostillado en el fruto de tomate de la variedad tradicional “Mutxamel” o el apuntamiento del fruto en la variedad “Valenciano”, o el color rosado de la variedad “Rosa de Barbastro”. Para acabar de perfilar el diseño de un producto atractivo para el consumidor puede ser muy interesante asociarle características organolépticas de sabor y mejor aún, características saludables como un elevado contenido en vitaminas o sustancias antioxidantes beneficiosas para la salud (Figàs et al, 2015b). Frente a este tipo de productos hortícolas el consumidor puede estar dispuesto a consumirlos pagando precios a veces bastante más elevados que los correspondientes a las variedades hortícolas comerciales.

5. Potencial de las variedades locales de tomate en mejora

5.1. Como fuentes de variación

Las variedades locales de tomate españolas presentan distintos atributos que hacen que puedan constituir fuentes de variación para determinados caracteres que actualmente constituyen objetivos de mejora importantes en los programas de mejora genética del tomate.

En algunos trabajos de caracterización de variedades locales de tomate se ha podido constatar como tipos varietales como el “De Penjar” constituyen una fuente de variación para la mejora postcosecha y la mejora de la resistencia al estrés hídrico (Galmés et al., 2013, Bota et al., 2014). En este sentido se están realizando trabajos con el tipo varietal “De Penjar” para determinar las secuencias genómicas implicadas en atributos de larga vida y resistencia al estrés hídrico que presenta este tipo de tomate.

Uno de los atributos más interesantes de las variedades tradicionales de tomate es su calidad interna tanto organoléptica, como nutritiva. De esta forma, las variedades locales de tomate presentan en general una excelente calidad organoléptica. Así, es importante tener en cuenta que representan una amplia variabilidad genética y por tanto son muy interesantes como fuente de variación para la mejora de la calidad interna de las variedades modernas de tomate.

Las cualidades organolépticas de las variedades locales de tomate guardan una relación directa con su composición química, especialmente en el contenido de azúcares reductores y ácidos orgánicos, que van a variar con la variedad considerada y el grado de madurez del fruto (Casals et al., 2015). El aroma, por otra parte, está determinado por sustancias volátiles que a pesar de su bajísima concentración son detectados por los órganos

gustativos y olfativos y confieren al tomate unas cualidades organolépticas peculiares. Así en las variedades locales españolas se ha encontrado una amplia diversidad en la composición de compuestos de interés organoléptico, nutricional, funcional y aromático (Adalid et al., 2005; García-Martínez et al., 2012; Cortés-Olmos et al., 2015; Figàs et al., 2015b). Por ejemplo, se han identificado niveles de compuestos antioxidantes muy interesantes en variedades locales de tomate del tipo “De Penjar” (Figàs et al., 2015b). También en determinadas variedades locales de tomate de frutos grandes, se han encontrado contenidos de licopeno muy interesantes, resultando también muy prometedores por su contenido en β -caroteno (Adalid et al., 2005; Roselló et al., 2005). No obstante, existe mucho germoplasma de variedades tradicionales por evaluar, que puede ser muy interesante para la mejora de la calidad interna, tanto en su componente organoléptica como nutritiva.

En esta labor de mejora, la caracterización analítica de las propiedades organolépticas en las colecciones de variedades locales, es un aspecto muy importante para la utilización futura en programas de mejora. El desarrollo de técnicas analíticas adecuadas nos permitirá sustituir la evaluación sensorial humana por una caracterización instrumental con un alto grado de sensibilidad, precisión y automatización. Por tanto, es necesaria la comparación entre datos analíticos de diferentes genotipos de tomate y las percepciones sensoriales de paneles de catadores entrenados para establecer umbrales de criterios de selección para los compuestos implicados en el sabor del tomate tradicional (Roselló y Nuez, 2006).

Las características excepcionales de calidad organoléptica y nutricional están siendo aprovechadas en la actualidad para el desarrollo de nuevas variedades comerciales de tomate que incorporen estos atributos

de calidad. En este sentido, se están desarrollando programas de mejora, en los que a partir de determinadas variedades locales de tomate españolas se pretende obtener variedades con nuevas combinaciones de forma y color, y que presenten con la mayor intensidad posible las características de calidad organoléptica, nutritiva y de carnosidad-jugosidad típica de las variedades locales. El objetivo es que adicionalmente, presenten un buen comportamiento agronómico y sean competitivas, incorporando resistencia a determinadas enfermedades de etiología fúngica o vírica de gran incidencia en nuestro país.

5.2. Como receptores de variación

En los últimos años se ha hecho popular en foros de mejora genética el término “valorización” de variedades locales o tradicionales de tomate. Este término hace referencia al conjunto de actividades destinadas a la recuperación y promoción de variedades locales de tomate. Dentro de estos programas de valorización se planifican actividades a distintos niveles. En primer lugar, es necesaria la caracterización de distintos materiales del tipo varietal objetivo. En este punto se plantea una actividad muy importante, consistente en la selección de aquellas entradas de una determinada variedad local que muestren las mejores características agronómicas conforme a los cánones que definen el tipo varietal tradicional correspondiente. Para esto es necesaria también la tipificación de la variedad local con la que se está trabajando. Una vez tipificada y seleccionados los mejores materiales es interesante mejorarlos para aquellos caracteres que limiten su rentabilidad en sus zonas de explotación comercial.

En la actualidad se están realizando programas de mejora y valorización con distintas variedades locales de tomate españolas. Es el caso de los tomates “Valenciano d’El Perelló” y “de Penjar d’Alcalà de Xivert” (Figàs et al., 2015c). Con estas dos variedades se está realizando un programa de valorización en el Institut Universitari de Conservació i Millora de l’Agrodiverstat Valenciana (COMAV) que incluye la mejora de la resistencia a virosis y hongos que las afectan de forma importante (Figàs et al., 2015c; Soler et al., 2015). También en el caso de los tomates “De la Pera” y “Mutxamel”, cultivados en Alicante, se ha conseguido desarrollar materiales con muy buen comportamiento agronómico que incorporan resistencia a virosis en la Universidad Miguel Hernández (García-Martínez et al., 2015). Otro ejemplo lo constituye los trabajos de mejora realizados con los tomates “Pera de Girona” y “Montserrat” en la Fundació Miquel Agustí en Catalunya (Casals et al., 2010; Casals, 2012) y con el tomate “Rosa de Barbastro” en el CITA de Aragón (Aguilar et al., 2014). La ejecución exitosa de estos programas de mejora está en algunos casos, y puede en un futuro, poner a disposición de los agricultores productos que constituyen alternativas rentables en un contexto agrícola cada vez más competitivo y complicado y que mantienen las características típicas de la variedad local.

6. Logros y perspectivas

6.1. Variedades locales de tomate consolidadas como alternativa rentable

Existen, en España, algunos casos de variedades tradicionales que están haciéndose un lugar en el mercado, constituyendo alternativas muy interesantes para los agricultores desde el punto de vista de la rentabilidad económica. Es el caso de los tomates “Valenciano d’El Perelló”, “de Penjar d’Alcalà de Xivert”, “De la Pera” y “Mutxamel” en València (Figàs et al., 2015a y b; García-martínez et al., 2015); los “Pera de Girona” (Casals, 2012) y el “Montserrat” (Casals et al., 2010) en Catalunya o el “Rosa de Barbastro” (Aguiar et al., 2014) en Aragón, entre otros.

El tomate tipo “Valenciano” (Figuras 1 y 2) constituye un producto de calidad interna excepcional y características externas peculiares, que le confieren un carácter diferenciado y único. Estas circunstancias están posibilitando que el mercado ofrezca en todas las campañas precios bastante elevados por la variedad tradicional “Valenciano” frente a las variedades comerciales normales (Figura 1). Existen organizaciones de productores como la Cooperativa Unió Protectora del Perelló que ha decidido apostar por la explotación del tipo varietal “Valenciano”. Así, este tomate se está consolidando como alternativa rentable para muchos agricultores de la comarca valenciana de la Ribera Baixa. Este tomate se puede recolectar en estado pintón sin comprometer el que el fruto alcance un rojo intenso cuando madura y conserve unas excepcionales características de calidad organoléptica. Esto permite la comercialización de este tipo varietal en áreas bastante alejadas de su zona de producción, como las zonas consumidoras de grandes ciudades como Barcelona, Zaragoza o Madrid. Este tipo varietal presenta frutos que tienen lóculos

pequeños distribuidos de forma irregular en torno a un corazón de sección circular y de gran tamaño. Estas circunstancias dan al fruto una gran solidez y carnosidad. Esta última característica es uno de los atributos de calidad más importante del tomate “Valenciano” y que permite su comercialización sin presentar problemas de dañado del fruto.



Figura 1.- Frutos de tomate del tipo varietal “Valenciano” y mostrador de un puesto de venta del Mercado Central de València donde puede verse el precio que alcanza en algunas épocas del año.



Figura 2.- Racimo de frutos del tipo varietal “Valenciana”.

El tipo varietal “Mutxamel” (Figura 3) presenta frutos grandes, aplastados, más o menos acostillados, que se cultivan fundamentalmente en los territorios centrales y del sur de València y Murcia. Su principal uso es el consumo en fresco, y tiene unas excepcionales características organolépticas. Sin embargo, son sensibles a las principales virosis que afectan al tomate, lo que hace prácticamente imposible su cultivo. En 1998 se empezó en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández un programa de mejora para la introducción de genes de resistencia a las tres virosis más importantes que afectan al cultivo del tomate en el sureste español: virus del mosaico del tomate (*Tomato mosaic virus*, ToMV), el virus del rizado amarillo del tomate o de la cuchara (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), y el virus del bronceado del tomate (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV). El método elegido ha consistido en una introgresión asistida por marcadores moleculares. Así se dispone de líneas que presentan resistencia a cada una de estas virosis (García-Martínez et al., 2015). Este grupo de investigación también ha trabajado en el tomate “De la Pera”, de cultivo en el territorio valenciano de Oriola (Vega Baixa), con el objetivo de introducir los genes de resistencia a las tres virosis citadas. Así, también se dispone de líneas de tomate “De la Pera” con resistencia a estas enfermedades (Rubio, 2015).



Figura 3.- Racimo de frutos del tipo varietal “Mutxamel”.

El tipo varietal “De Penjar” (Figura 4) constituye otro caso de variedad tradicional de tomate consolidada como alternativa rentable para los agricultores valencianos. Las características peculiares del cultivo del tomate “De Penjar”, al presentar larga vida, unido a la elaboración artesanal de este producto y a las particularidades geológicas y climatológicas del término de Alcalà de Xivert, municipio del territorio valenciano de Castelló, ha conseguido diferenciar sustancialmente este tomate de los que se producen en nuestro país. Es un producto que ha encontrado un buen mercado, sobre todo en Catalunya, absorbiendo la casi totalidad de la producción de Alcalà de Xivert.



Figura 4.- Racimo de frutos del tipo varietal “De Penjar” y presentación de frutos de esta variedad para colgar.

En el 2007 se creó la Asociación de Productores y Comercializadores de Tomata de Penjar de Alcalà de Xivert para revalorizar este tipo de tomate. La asociación consiguió en diciembre de 2008 la Marca de Calidad CV para la “Tomata de Penjar d’Alcalà de Xivert”. Con esta marca, concedida por la Generalitat Valenciana, se distingue y pone en valor la singularidad de este tomate único y se

autentifica su calidad. La “Tomata de Penjar d’Alcalà de Xivert” debe principalmente sus cualidades organolépticas al clima y al agua utilizada para su cultivo. Por ello las auténticas variedades que conforman esta marca de calidad de tomate deben provenir del término municipal de Alcalá de Xivert (Castelló). La salinidad moderada del agua de riego contribuye a otorgar a estos tomates su particular sabor. En la actualidad, se está trabajando en la tipificación y valorización de sus atributos (Figàs et al., 2015c), así como en la mejora genética para resistencia a ToMV y *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Soler et al., 2015).

Dos de las variedades locales de tomate más difundidas y populares en Catalunya son “Montserrat” y “Pera Girona”. El tomate “Montserrat” posee unos frutos de forma irregular-aplanada, de color rosado, de lóculo hueco y de gran tamaño. Su producción se concentra principalmente en la Catalunya central y en la comarca del Maresme. En las comarcas de Girona se cultiva principalmente la variedad “Pera Girona”, la cual guarda grandes similitudes morfológicas y organolépticas con Montserrat (Casals, 2012). El equipo de investigación de la Fundació Miquel Agustí (FMA) desarrolla desde el año 2005 un programa de mejora genética para obtener nuevos cultivares del tipo “Pera Girona”. Su principal objetivo es obtener nuevas variedades con comportamiento agronómico y perfil sensorial superior. Los trabajos realizados por el equipo incluyen: colecta de germoplasma y conservación *ex situ*; caracterización de las entradas para su comportamiento agronómico, morfológico y sensorial. Así se ha obtenido la nueva variedad Montgrí de tomate tipo “Pera Girona” (Casals et al., 2010). Dicha variedad está siendo cultivada en la actualidad por numerosos agricultores del Baix Llobregat y el Maresme.



Figura 5.- Racimo de frutos del tipo varietal “Montserrat” (izquierda) y del tipo varietal “Pera de Girona” (derecha).

El tomate ‘Rosa de Barbastro’ presenta un color rosáceo característico, piel muy fina, pulpa suave y compacta y sobre todo muy aromático y de notable sabor. Durante mucho tiempo, sólo era posible adquirir tomates ‘Rosa de Barbastro’, fundamentalmente en los pueblos de la comarca aragonesa de Barbastro. En esta comarca del Somontano aragonés, se ha cultivado durante siglos este tomate rosa de excepcional calidad de forma totalmente natural y artesanal, en la Huerta de Barbastro (Huesca). El conjunto de características descritas para el tomate “Rosa de Barbastro” ha posibilitado su puesta en el mercado durante los últimos años como un producto de calidad interna excepcional y características externas peculiares, que le confieren un carácter diferenciado y muy interesante a nivel comercial. Con el fin de dar respuesta al sector productor del tomate “Rosa de Barbastro” sobre la necesidad de homogeneización del material vegetal, para mejorar el nivel de renta de los hortelanos y la calidad de la oferta de este producto en el mercado, a partir del año 2010 se inició un programa de selección y mejora con este tipo de tomate (Aguiar et al., 2014).



Figura 6.- Racimo de frutos del tipo varietal “Rosa de Barbastro”.

6.2. Importancia de las variedades tradicionales de tomate como alternativa rentable dentro de una agricultura sostenible

Teniendo en cuenta que los sistemas de cultivo de la agricultura tradicional donde han evolucionado las variedades tradicionales son de bajos insumos, éstas pueden ser muy adecuadas para el empleo por los agricultores que de forma creciente se van incorporando a los sistemas de producción agrícola sostenible ecológica. Esto puede ser muy interesante para potenciar el uso de las variedades locales de tomate, teniendo en cuenta que, en nuestro país la superficie de cultivo ecológico se ha incrementado de forma sustancial desde las 4.235 ha en 1991 a las 1.610.129 ha en 2011 (Magrama, 2016).

Así, la agricultura de bajos insumos y ecológica, puede constituir un apoyo a la recuperación del cultivo de variedades tradicionales de tomate, ya que éstas constituyen un material adecuado para estos tipos de sistema de cultivo. Las variedades tradicionales están adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la zona donde fueron obtenidas, mostrando en estas condiciones un comportamiento óptimo. Igualmente, las excepcionales

características de calidad de estos materiales, debido a su selección durante años, concuerdan con las exigencias del consumidor de los productos ecológicos, que busca un producto tradicional que destaque por sus características de calidad interna y no por su apariencia exterior.

No obstante, aunque la agricultura de bajos insumos puede ser un punto de apoyo a la recuperación del cultivo de las variedades tradicionales de tomate valencianas, su puesta en valor pasa de forma necesaria en focalizar sus características de calidad y sus excelencias por encima del sistema de cultivo empleado en su explotación comercial. Como se ha resaltado anteriormente en distintos ejemplos de variedades locales de tomate españolas, las variedades tradicionales presentan unos atributos de calidad destacados, lo cual conduce en muchos casos a la obtención de mayores precios de venta en el mercado. Sin embargo, la inestabilidad de las producciones debido a la incidencia de enfermedades, así como los menores rendimientos obtenidos con este tipo de variedades, hace imprescindible que se aseguren esos mayores precios de venta y que se pongan en marcha programas de selección y mejora genética como ya se ha citado.

Así, la valorización de este tipo de variedades pasa, por una parte, por la selección agronómica de los materiales disponibles y su mejora frente a las enfermedades que condicionan su rentabilidad. En el caso de las variedades tradicionales de tomate hay tres virosis de especial importancia: las causadas por el ToMV, el TSWV y el TYLCV-TYLCSV. En los dos casos mencionados se dispone de genes de resistencia que incorporan las variedades comerciales y que han contribuido a reducir los efectos limitantes de la producción de estas virosis. La incorporación de estos genes de resistencia en variedades tradicionales permitiría potenciar

su cultivo y convencer a muchos agricultores de la rentabilidad que pueden presentar estas variedades tradicionales. En la actualidad, como ya se ha comentado en el caso del tomate “Mutxamel” y “De la Pera”, se dispone de selecciones que incorporan genes de resistencia a las virosis mencionadas (García-Martínez et al., 2015; Rubio, 2015).

Por otra parte, es muy interesante asociar a este tipo de productos tradicionales marcas de calidad establecidas por las distintas administraciones públicas. Se trata de evitar que aquellos productos que han adquirido una cierta reputación, se vean perjudicados por imitaciones con unos niveles de calidad inferiores. La asociación de marcas de calidad como la Denominación de Origen Protegida (DOP), Indicación Geográfica Protegida (IGP) o Especialidad Tradicional Garantizada (ETG) contribuye a afianzar su diferenciación como producto y a su protección frente a imitaciones (Escrivá et al., 2010). En el caso de las variedades locales de tomate, el “Tomate De Penjar D’Alcalà de Xivert” que dispone desde 2008 de la marca de calidad CV otorgada por la Generalitat Valenciana, constituye un ejemplo de este tipo de estrategia para conseguir su valorización. Adicionalmente, la realización de una caracterización genética y obtención de una huella genética constituirán herramientas de protección frente a los fraudes o imitaciones de los productos tradicionales.

6.3. Un salto cualitativo para la valorización de las variedades locales de tomate: el proyecto TRADITOM.

Desde el proyecto del programa H2020 “Traditional tomato varieties and cultural practices: a case for agricultural diversification with impact on food security and health of European population” (TRADITOM), con vigencia 2015-1018 y coordinado desde España

(Antonio Granell, IBMCP-CSIC), se plantea una apuesta decidida de futuro en el marco de un proyecto de investigación e innovación que se centra en la identificación y valoración de las variedades tradicionales de tomate de Europa y sus prácticas culturales. El proyecto comprende el estudio de más de 1400 variedades tradicionales europeas, muchas de las cuales son españolas. En el marco del proyecto, dentro de la colaboración con el sector productivo, se pondrá a disposición de los agricultores y la industria relacionada con el sector, los materiales tradicionales más interesantes.

Hasta el momento se ha realizado la caracterización morfológica, agronómica y de calidad de las colecciones de variedades locales de tomate de España, Italia, Francia y Grecia. En base a la caracterización citada y al genotipado (en realización) de este germoplasma, se generará una colección nuclear de variedades locales de tomate europeas. Esto permitirá proteger y valorizar las mejores variedades tradicionales de tomate. El proyecto TRADITOM sigue un enfoque de dos vías. Por una parte, identificar y explotar las características que hacen que estas variedades tradicionales sean más atractivas para el mercado. Así, algunas variedades tradicionales superan a los cultivares modernos en términos de sabor, vida útil y resistencia a la sequía. Por otra parte, pretende superar los "puntos débiles" de las variedades tradicionales en términos de rendimiento y resistencia a patógenos a través de la selección de aquellos materiales más interesantes desde un punto de vista productivo. Una adecuada selección de aquellos materiales que reúnan los atributos de cada tipo varietal, al tiempo que incorporen resistencia a las principales enfermedades que les afectan, será una garantía del éxito y recuperación de las variedades tradicionales de tomate en los mercados europeos.

7. Agradecimientos

El proyecto TRADITOM está siendo financiado dentro del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea (contrato N° 634561).

8. Referencias

- Adalid, A., Roselló, S., Cebolla-Cornejo, J., Nuez, F. (2005). Evaluation and selection of *Lycopersicon* accessions for their high carotenoid and vitamin C content. XV Meeting of the EUCARPIA Tomato Working Group.
- Aguado, G., Del Castillo, J.A., De Galdeano, J.S., Uribaldi, A., Sádaba, S. (2006). Variedades locales de tomate. Comportamiento en invernadero. Navarra Agraria. pp. 27-34.
- Aguiar, M., Bruna, P., Llamazares, A., Mallor, C. (2014). Evaluación de material vegetal seleccionado de tomate Rosa de Barbastro (*Solanum lycopersicum* L. Actas de Horticultura del VII Congreso de Mejora Genética de Plantas, Zaragoza. p. 201.
- Amador, L., Ríos, D., Rodríguez, B., Parrilla, M., Rodríguez, E., Díaz, C. (2010). Lycopene content in local cultivars of Canary Islands. 28th Intern. Horticultural Congress, Portugal.
- Amador, L., Santos, B., Ríos, D. (2012). Variedades tradicionales de tomate de Canarias. Cultivos y Tecnología Agraria de Tenerife, Tenerife. 233 pp.
- Bota, J., Conesa, M.A., Ochogavia, J.M., Medrano, H., Francis, D.M., Cifre, J. (2014). Characterization of a landrace collection for Tomàtiga de Ramellet (*Solanum lycopersicum* L.) from the Balearic Islands. Genetic Resources and Crop Evolution, 61: 1131-1146.
- Boutelou, C., Boutelou, E. (1801). Tratado de la huerta ó método de cultivar toda clase de hortalizas. Reedición 1998. Librerías París-València S.L., València.

- Carravedo, M. (2006). Variedades autóctonas de tomate de Aragón. Centro de Investigación de Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza. 238 pp.
- Carravedo, M. (2012). Variedades autóctonas de tomates de Aragón. Centro de Investigación de Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza. 76 pp.
- Carravedo, M., Ruiz de Galarreta, J.I. (2005). Variedades autóctonas de tomate del País Vasco. Colección LUR nº7. 131 pp.
- Casals, J. (2012). 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. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 95 pp.
- Casals, J., Marti, R., Casañas, F., Cebolla-Cornejo, J. (2015). Sugar and acid profile of Penjar tomatoes and its evolution during storage. *Scientia Agricola*, 72: 314-321.
- Casals, J., Bosch, L., Casañas F., Cebolla, J., Nuez, F. (2010). Montgrí, a Cultivar within the Montserrat Tomato Type. *HortScience*, 45:1885-1886.
- Casañas, F. (2006). Varietats tradicionals, obtenció de cultivars amb característiques organolèptiques superiors i agricultura en espais periurbans Catalans. *Quaderns Agraris*, 30: 117-127.
- Cebolla-Cornejo, J. (2005). Recuperación de variedades tradicionales de tomate y pimiento: caracterización y mejora genética. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València, Valencia. 276 pp.
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Sci. Hortic.* 162:150–164.
- Cortés-Olmos, C., Valcárcel, J.V., Roselló, J., Díez, M.J., Cebolla-Cornejo, J. (2015). Traditional Eastern Spanish varieties of tomato. *Scientia Agricola*, 5: 420-431.
- Costa, J.M., Heuvelink, E. (2005). Introduction: the tomato crop and industry. En: Heuvelink E. Tomatoes. Crop production science in horticulture series: 13. CABI publishing. London. pp. 1-21.

- Díaz del Cañizo, M.A., Guzmán, G.I., Soriano, J.J., Álvarez, N. (2000). Recuperación de variedades tradicionales locales de cultivos y del conocimiento a ellas asociado, para su conservación, uso y manejo en las comarcas de Antequera (Málaga) y Estepa (Sevilla). Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), Madrid. pp. 333-342.
- Domínguez, A. (1998). Conservación, caracterización y redistribución de variedades hortícolas tradicionales. Experiencias con agricultores ecológicos en Valencia.
- Egea-Sánchez, J.M., Catalá, M., Morales, M.A., Gomarriz, J., Egea-Fernández, J.M., Costa, J. (2008a). Caracteres de calidad de diferentes tipos de tomates murcianos. Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), Murcia. p. 108.
- Egea-Sánchez, J.M., Avilés, I., Egea-Fernández, J.M. (2008b). Inventario y catalogación de variedades locales de la Región de Murcia. Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), Murcia. p. 56.
- Escrivá, C., Baviera, A., Buitrago, J.M. (2010). Marcas de calidad agraria en la Comunidad Valenciana. En Ramón F. Fernández (ed.), El derecho civil valenciano tras la reforma del estatuto de autonomía. Tirant, Valencia.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández-de-Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015a). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. Genet. Resour. Crop. Evol. 62:189–204.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fita, A., García-Martínez, M.D., Casanova, C., Borràs, D., Plazas, M., Andújar, I., Soler, S. (2015b). Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. Food Chem. 187:517-524.
- Figàs, M.; Soler, S.; Díez, M.J.; Granell, A.; Monforte, A.; Prohens, J. (2015c). Strategies for the enhancement of local tomato varieties: a study case with varieties from the Spanish region of València. Book of Abstracts of INNOHORT Symposium: 9.

- Galmés, J., Ochogavía, J.M., Gago, J., Roldán, E.J., Cifre, J., Conesa, M.A. (2013). Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*: anatomical adaptations in relation to gas-exchange parameters. *Plant, Cell and Environment*. 36:920-935.
- García, A., Guzmán, G.I., Soriano, J.J. (2000). Evaluación de variedades locales de tomate para su conservación in situ en agricultura ecológica. *Actas del IV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE)*, Córdoba.
- García, E.M., Peña, J., Llata, J.M., Bermúdez, D., Caramé, E., Castrillo, B., Gutiérrez, S., Murga, C., Raposo, S. (2014). Caracterización y evaluación agronómica y de calidad de cultivares tradicionales de tomate de Cantabria. *Memoria de Actividades 2014*. Centro de Investigación y Formación Agraria (CIFA). Gobierno de Cantabria, Oviedo. pp. 59-60.
- García, E.M., Castrillo, B., Bermúdez, D., Caramés, E., Velasco, I., Raposo, S., Gutiérrez, S. (2013). Caracterización, multiplicación y evaluación de los recursos fitogenéticos de tomate tradicional de Cantabria. *Proyectos de investigación del Centro de Investigación y Formación Agraria (CIFA)*. Gobierno de Cantabria, Oviedo. p. 55.
- García-Martínez, S., Corrado, G., Ruiz, J.J., Rao, R. (2013). Diversity and structure of a sample of traditional Italian and Spanish tomato accessions. *Genet. Resour. Crop Evol.* 60:789–798.
- García-Martínez, S., Galvez-Sola, L.N., Alonso, A., Agullo, E., Rubio, F., Ruiz, J.J., Moral, R. (2012). Quality assessment of tomato landraces and virus-resistant breeding lines: quick estimation by near infrared reflectance spectroscopy. *J Sci Food Agric.*, 92: 1178–1185.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Carbonell, P., Ruiz, J.J. (2015). UMH 916, UMH 972, UMH 1093, UMH 1127, and UMH 1139: Four Freshmarket Breeding Lines Resistant to Viruses Within the Muchamiel Tomato Type. *HortScience*, 50: 927-929.
- González, G.J., Soriano, J.J., Aguirre, I. (2002). Caracterización participativa de variedades locales de tomate en el medio urbano de Sevilla para su posible uso en agricultura ecológica. *Actas del IV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE)*, Gijón.

- Jiménez, A., Castillo, J.E., Ortiz, R. (2010). Caracterización productiva y morfológica de variedades autóctonas de tomate. *Vida Rural*, 305: 64-68.
- Lázaro, A., Fernández, I., Cabello, F., De Lorenzo, C. (2014). Catálogo de tomates tradicionales de la Comunidad de Madrid. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario. IMIDRA. 86 pp.
- MAGRAMA. 2016.
http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Estadisticas_AE_2013_tcm7-351187.pdf.
- Moreno, M.M., Meco, R., Villena, J., Mancebo, I. (2010). Tomates tradicionales de Castilla-La Mancha. Un patrimonio a preservar. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Toledo. 275 pp.
- Navarro, P.(2011). Caracterización y evaluación de variedades tradicionales de tomates en invernadero. Trabajo de investigación. Universidad de Almería, Almería. 205 pp.
- Nuez, F. (2001). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 793 pp.
- Prohens, J., Casañas, F., Ferreira, J.J. (2016). Variedades tradicionales en una agricultura moderna: estrategias de re-valorización. En: J.I. Ruiz de Galarreta y J. Prohens (eds.). Las variedades locales en la mejora genética de plantas, NEIKER, en este mismo volumen.
- Rick, C.M. (1976). Tomato. Pp 667-678. En N.W. Simmonds (ed.), *Evolution of crops plants*. Longman, London & New York.
- Rivera, A., Taboada, A., Salleres, B., Tajés, D., Fernández, J.A., López, M.J., Rodríguez, J.M., Riveiro, M., Ledo, A. (2010). Recuperación y evaluación de cultivares tradicionales de tomate. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Estación Experimental Agrícola Baixo Miño, A Coruña.
- Roselló, S., Adalid, A., Cebolla-Cornejo, J., Nuez, F. (2005). Cuantificación indirecta rápida del contenido en licopeno y β -caroteno en variedades tradicionales de tomate. *Actas Port. Hort.* 8: 429-435.

- Roselló, S.A., Nuez, F. (2006). Mejora de la calidad del tomate para fresco. pp. 333-359. En G Llàcer, MJ Díez, JM Carrillo, ML Badenes (eds.), Mejora Genética de la calidad en plantas. Universidad Politècnica de València, València.
- Rubio, F. (2015). Efecto de la introducción de genes de resistencia a virosis en tomate sobre caracteres agronómicos y de calidad organoléptica de variedades localmente adaptadas. Tesis. Universidad Miguel Hernández, Elche. 94 pp.
- Sauca, E., Ruiz De Galarreta, J.I. (2006). Selección y mejora genética de las especies de tomate y lechuga para su utilización en agricultura ecológica. Federación de Agricultura Ecológica de Euskadi, Derio. 123 pp.
- Soler, S., Figàs, M.R., Casanova, C., Borràs, D., Granell, A., Prohens, J. (2015). Higher yield and more uniform fruit set in selections of the 'Valenciana' local tomato landrace. The 12th Solanaceae Conference, Burdeos. p. 133.
- Soler, S., Prohens, J., López, 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.
- Soriano, J.J., Guzmán, G.I., García, S.F., Figueroa, M., Lora, A. (2000). Recuperación de variedades locales de hortalizas para su cultivo ecológico. Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Madrid. p. 323-331.
- Taboada, A., Rivera, A., Riveiro, M. (2015). Variedades autóctonas de tomates de Galicia. Xunta de Galicia. Consellería do Medio Rural e do Mar, Santiago de Compostela. 28 pp.
- Zeven, A.C. (2002). Traditional maintenance breeding of landraces: 2. Practical and theoretical considerations on maintenance of variation of landraces by farmers and gardeners. *Euphytica*, 123 (2): 147-158

Posada en valor de les varietats tradicionals de tomaca valencianes

Soler, S.; Figàs, M.R.; Prohens, J.

Institut de Conservació I Millora de l'Agrodiversitat Valenciana.
Universitat Politècnica de València. Camí de Vera s/n. 46022 València.

Cita: Soler, S., Figàs, M.R. and Prohens, J. (2016). Posada en valor de les varietats tradicionals de tomaca valencianes, p. 245-276. En: Josep Albinyana, Pere Josep Beneyto i Calatayud i Emili Casanova (Eds.), IV Congrés d'Estudis de la Vall d'Albaida, Benigànim, 28 i 29 de novembre de 2014. ISBN 978-84-7822-694-8.

1.-Perspectiva històrica de la horticultura valenciana.

València compta amb una tradició hortícola centenària. En concret el sistema de sèquies de la capital valenciana deriva de la primera xarxa de reg creada pels romans. Aquest sistema, va anar evolucionant i va ser ampliat durant els anys de permanència dels musulmans a la zona de litoral mediterrani que formava l'antic regne moro de València. Els musulmans van potenciar de forma molt important tot el sistema de reg no només de la capital (Tarradell i Sanchis Guarner, 1965) sinó de moltes altres ciutats i pobles. Així era coneguda ja l'horta de la ciutat de València al segle XII com queda de manifest en la descripció realitzada pel geògraf Al-Idrisi (1100-1166), en la seva descripció d'Àfrica i Espanya de 1153. Així, referint-se a la ciutat de València esmenta que té: "un riu les aigües del qual són útilment emprades en el reg de camps, dels jardins, dels horts i de les cases de camp" (Ballester Olmos, 1999).

Els musulmans són reconeguts com els creadors i constructors de gran part del sistema de sèquies de diferents zones d'horta de València, ja admirades en aquells temps. En aquest sentit, València és qualificada pels poetes i erudits àrabs com un paradís. Per aquell temps València era coneguda com Xark al-Andalus, la part oriental de la península ibèrica dominada pels musulmans. A partir del segle X, aquesta àrea acabarà formant els regnes musulmans de València i Dénia. Les cites sobre la riquesa agrícola d'aquests regnes són abundants al llarg dels cinc segles de govern musulmà. Destaquen les mencions d'historiadors, juristes i poetes com Al-Waqqasi (1017-1096), Abu-l-Mutarrif ibn Almira (1186-1260), Ibn al-Abbar (1196-1260), i Al-adjuví, entre d'altres (Tarradell i Sanchis Guarner, 1965). Els sistemes de sèquies (Figura 1) i el saber fer dels

regants actuals de les hortes valencianes deriven en gran manera de les pràctiques agrícoles d'aquells agricultors musulmans.



Figura 1.- Sèquia de Vera (esquerra) i sistema de "Portelles" per a l'administració de l'aigua de reg (dreta) en l'horta de la ciutat de València.

Les mencions sobre la importància hortícola de la ciutat de València i els seus voltants són molt abundants. Així, Al-waqqasi, estant la ciutat de València assetjada pel Cid, a la seua obra "*Elegia a Valencia*", es lamenta de com l'horta valenciana es ressent de la presència del campeador i escriu: "Les teves molt nobles i vicioses hortes que en entorn de tu són, el llop rabiós els va cavar les arrels i no poden donar fruit "; "El teu molt ric cabdal Guadalaviar, amb totes les altres aigües que de la teva molt bé servies, sortit és de mare i va on no deu"; "Les teves sèquies molt clares i á les gents molt profitoses, es tornaren brutes, i, amb la minva de neteja, van plenes de molt gran llot" (Sanchis Guarnier, 1972).

Al-Adjuví comenta la grandesa del sistema de conducció de l'aigua: "València és a prop d'un llac i d'un riu que l'envolta pel nord. Està

situada a la regió oriental d'Al-Andalus, en un dels paratges de més bellesa. L'envolten hortes i séquies, no s'escolta res més que el murmuri de l'aigua corrent que es ramifica estenent-se per tot arreu..." (Tarradell i Sanchis Guarner, 1965).

Sembla que l'assentament dels costums agrícoles musulmans derivarien en la creació de l'anomenat "Tribunal de les Aigües de València" (Figura 2). El tribunal estava compost per set síndics (avui dia vuit), un per cada sèquia del Túria, que actuaven com a administradors de la sèquia a la qual pertanyien i alhora com a jurat en conjunt. Aquest tribunal és considerat com un dels òrgans de justícia en activitat més antics del món. La seva fama, àmpliament estesa es deu a la seva consideració com a model d'eficàcia i d'acceptació popular. L'origen d'aquest tribunal es perd en l'antiguitat, però, la tendència actual és a adscriure-li un origen musulmà, tot i presentar diferències amb el sistema judicial islàmic (Martínez, 2002).



Figura 2.- Tribunal de les Aigües de València que es celebra tots els dijous a les 12:00 hores a la Porta dels Apòstols de la Ciutat de València.

Jaume I, després de conquerir el Regne de València, va mantenir els sistemes de cultiu i administració d'aigua musulmans. Això va permetre consolidar la importància de l'agricultura en l'incipient regne cristià medieval. Així, en el seu "Llibre dels Feits" queda reflectida la importància de l'horta de la Ciutat de València: "E és-hi la torre de Montcada, que és de les mellors torres de tota l'horta". En la seva obra Jaume I cita diverses alqueries d'aquesta horta com les de Museros i Russafa. En aquesta última, molt propera a la ciutat emmurallada de València, cita fins a un cultiu de faves i fa referència al sistema de reg emprat: "E prop de nós un git de pedra, collien en un favar les faves de trenta a quaranta sarraïns... e encara no sabem si han els camps regats". No obstant això, les zones d'horta, ja en aquesta època, no se circumscrivien als voltants de la capital del regne. Així, parlant de Xàtiva el Rei En Jaume diu: "e veem la pus bella horta que anc haviem vista en vila ni castell, e que hi havia més de dues-centes algorfes per l'horta, els pus belles que hom pogues trovar, e les alqueries entorn de l'horta, moltes e espeses", e veem encara el castell, tan noble e tan bell, e tan bella horta".

El testimoni dels vençuts ratifica la importància de l'horticultura en el regne moro de València. Així, Ibn-al-Abbar, alt funcionari dels últims reis moros de València, enalteix també la bellesa de les hortes circumdants de la ciutat de València, en la seva carta d'auxili al sultà de Tunis, durant el setge al qual el rei Jaume I va sotmetre a la capital valenciana.

Un cop consolidat el nou regne medieval de València i sobretot en el segle XIV l'agricultura valenciana va prosperar i anys més tard, en 1383, Francesc Eiximenis (1330-1409), referint-se a les belleses de la ciutat de València, escriu en el seu "Regiment de la cosa pública": "...que dita és abundada de fonts e rius e de moltes e bones aygues ques rega tota la dita

terra e és plus bella e plus fèrtil ". "... És gran senyal de especial gràcia o excellència de la terra com aquesta terra és apta en fer fruits estranys i drogues orientals... així com sucre, pebre, cotó, safrà, alastflor, arròs, alquena, alcaràüia, comí, alfals, atzercó i batafalua ". "... Abunda en molta bella e bona hortalissa, així com en tot llinatge de cols, carabasses, llectugues, albergínies, melons, albudeques, cogombros, naps, xerevíes, pastanagues, alls, cebes, escalunyes, porros i ràbens; e és gran meravelles que a Nadal produeix e per tot l'any, pèssols tendres ".

No obstant això, en 1609 es va decretar l'expulsió dels moriscos del regne de València. Això va suposar la despoblació de tots aquells pobles de règim senyorial que basaven la seva economia en l'agricultura i artesania, i també la disminució dràstica de població en molts altres pobles. Això va suposar un dur cop per a l'agricultura Valenciana. A València es va produir un descens en la població d'unes 118.000 persones; al voltant d'un 25% de la població del regne (Sanchis Guarner, 1972). Temps més tard, l'horta valenciana es recuperaria del cop sofert i els elogis se succeeixen per part dels visitants estrangers. És el cas del venecià Bartolomeo de Rogatis al segle XVII. Així diu: "Gaudeix València d'una contínua primavera. Envoltada d'hortes per la seva part occidental, sembla més un jardí, que una ciutat emmurallada, tant abunden les plantes, els fruits i les flors perfumades, així com llimones, taronges i ponciros" (Sanchis Guarner, 1972).

Al segle XVIII, Antonio José Cavanilles (1795-1797) en les seves expedicions pel Regne de València, referència la importància de l'agricultura valenciana i de les diferents zones d'horta existents: "On aquesta terra aconseguix reg i abundància de fems, com des de Castelló de la Plana fins a Oliva és més suau i fèrtil. En aquest estat rendeix al pagès

quant li demana, i mai vaga, succeint contínuament precioses i abundants collites ". "Així és deure a les hortes d'Elx i Alacant, a la vall de Albayda, i en els termes d'Alcoi i Asp". Són especialment importants les referències a l'horta de la Ciutat de València: "La immensa població i riqueses del recinte que anem a examinar depèn del Túria, i potser més de la manera amb que allí s'aprofiten les aigües, i del intel·ligència, constància i ardor infatigable amb què es conrea el sòl. (...) Mai descansa el sòl d'aquestes hortes, succeint-se les collites sense interrupció; per això doncs, i per ser terra de seu poc feraç, es veuen els pagesos en un continu moviment. No posa-hi la nit termes al treball "(Cavanilles, 1974).

A principis del segle XX, en l'avanç estadístic de 1911 (Junta Consultiva Agrària, 1914) es recull l'extraordinària importància del cultiu hortícola, que ocupava una extensió de 4.168 hectàrees, una superfície aconseguida en aquell moment per unes poques províncies espanyoles, tot i tenir en compte que aquestes dades no incloïen el cacauet, la ceba i la patata. Les principals zones hortícoles a les comarques del Nord estaven circumscrites al litoral; les hortes de Benicarló i Vinaròs, i l'horta de Castelló i la Plana. A les comarques de la Plana Valenciana i Riberes les més excel·lents eren l'horta de Gandia, la vall de Tavernes de la Valldigna, les riberes del Xúquer, l'Horta de la ciutat de València (Figura 3), els camps de Sagunt i el camp de Lliria. A les comarques centrals la zona més important era la vega de Xàtiva. A les comarques del sud destacaven les hortes de Oriola i Alacant.



Figura 3.- Panoràmica de l'horta dels voltants de la ciutat de València.

2.- Les varietats tradicionals d'hortalisses valencianes.

En els diferents territoris valencians, com ja hem vist, al llarg dels segles els agricultors van anar generant un valuós patrimoni constituït per gran diversitat de varietats tradicionals d'hortalisses. Les varietats desenvolupades s'anaren diferenciant depenent de les diferents condicions agroclimàtiques valencianes i dels diversos tipus de selecció aplicada pels agricultors en cada localitat o zona de cultiu. Al llarg del desenvolupament de gran part de les nostres varietats tradicionals els agricultors van tenir en compte, de forma molt important, la qualitat organolèptica, és a dir, el gust com a factor destacat en la selecció de les llavors que utilitzaven per a cada cicle de cultiu (Cebolla-Cornejo et al., 2007; Soler et al., 2010).

Actualment, les zones d'horta valencianes amb més tradició històrica es localitzen a les comarques de l'Horta (voltants de la capital)

(Figura 3), la Plana Alta (Vinaròs), el Baix Vinalopó (voltants de Elx) i Baix Segura (zona de Oriola). Aquestes zones es caracteritzen per la petita propietat agrària amb elevats nivells de minifundisme. Moltes d'aquestes propietats són conreades per agricultors d'avançada edat i amb un risc molt elevat de desaparició a curt termini (Ferrer Ripollès i Saragossa Rovira, 1980). És a dir, moltes de les varietats tradicionals valencianes d'hortalisses es troben en un perill real de desaparició.

2.1- Les qualitats de les varietats tradicionals.

Les varietats tradicionals són el resultat del cultiu d'una varietat per l'agricultor en un determinat ambient. Aquest procés continu d'evolució basat en la selecció i adaptació al llarg de centenars d'anys per part dels agricultors valencians ha possibilitat el desenvolupament d'una sèrie de varietats tradicionals hortícoles amb unes característiques molt concretes i peculiars. En aquest sentit, aquestes varietats tenen un gran valor com a patrimoni etnobotànic d'un país, i com a tal haurien de ser conservades (Zeven, 2002). No obstant això, també com a recursos fitogenètics constitueixen un excel·lent material de treball per al millorador.

Inicialment aquestes varietats van ser combinades entre si per donar lloc al llarg del segle XX a les varietats modernes de tomaca comercial. En el context actual, les varietats tradicionals poden actuar bé com a fonts de variació, o bé com a receptors de variació. Com a fonts de variació, han estat i poden ser aprofitades per a la millora de certes característiques dels cultius moderns, com ja ha estat esmentat. Com receptors de variació, les pròpies varietats tradicionals poden ser objecte de millora, introduint caràcters que milloren la seva competitivitat davant

dels cultivars moderns (García-Martínez et al., 2013a; 2013b). En ambdós casos, l'objectiu resideix en aprofitar les dues característiques més interessants de les varietats tradicionals: la qualitat interna i l'adaptació a les condicions agroclimàtiques locals (Casañas, 2006; Cebolla-Cornejo et al., 2007; Casals et al., 2011).

Les varietats tradicionals, no només es caracteritzen per unes excel·lents característiques organolèptiques, sinó que tenen una estructura molt favorable al constar, en el cas de la tomaca, de cors de grans dimensions i lòculs petits que aporten solidesa i consistència al fruit. Pel que fa a l'adaptació a les condicions agroclimàtiques locals, aquesta característica és fonamental per al desenvolupament de productes d'alt valor afegit que poden constituir alternatives rendibles per als agricultors d'aquestes mateixes zones geogràfiques (Casañas, 2006). Així, d'aquesta manera, són un material vegetal molt idoni per a la creació o desenvolupament de productes associats a marques de qualitat o denominacions d'origen (Escribà et al., 2010).

2.2.- La conservació de les varietats tradicionals.

Per a la conservació dels recursos fitogenètics, es considera fonamental complementar la conservació *ex situ* en bancs de germoplasma, amb una conservació *in situ*. Això és necessari, tenint en compte que la conservació *ex situ* d'aquests materials presenta un gran inconvenient. Aquest consisteix en el procés de deriva genètica que es produeix, en els bancs de germoplasma, en poder reproduir un nombre petit de plantes cada vegada que es regenera una entrada. Per tant, amb

cada multiplicació es perd una part de la diversitat genètica que es pretén conservar.

Per potenciar la seva conservació *in situ* és necessari recuperar el cultiu de varietats tradicionals hortícoles en les seves zones d'origen (Figàs et al., 2014). Un dels punts clau a favor de la conservació *in situ* és la conservació o manteniment de la interacció entre els recursos fitogenètics, el medi ambient i l'agricultor. D'aquesta manera aquestes varietats continuen evolucionant als medis agrícoles on es van generar fa molts anys, podent generar contínuament noves varietats adaptades a les necessitats i gustos canviants dels agricultors. És així, com l'agricultura ha jugat un paper d'acumuladora de biodiversitat i pot continuar jugant-lo. Aquest tipus de conservació pot generalitzar-se als camps valencians si som capaços de posar en valor les varietats tradicionals d'hortalisses en les seves zones d'origen, mitjançant la recuperació de la seva explotació comercial (Casañas, 2006), i alhora contribuir al manteniment de la rendibilitat agrària dels agricultors (Casañas, 2006; Soler et al., 2010).

2.3.- Les varietats tradicionals com una alternativa rendible.

En el context agrícola actual, els horticultors valencians, amb parcel·les de relativament reduïda grandària i amb elevats costos de mà d'obra es veuen desbordats per l'oferta de produccions d'altres països o zones productores espanyoles amb menors costos, enfront de la qual és molt difícil competir. Així, actualment no és difícil produir, sinó vendre la producció obtesa. Per altra banda, s'està produint en els mercats un canvi d'una agricultura de quantitat a una agricultura de qualitat (Bouma et al., 1998). Els consumidors europeus i valencians, valoren de forma creixent

la qualitat interna de les hortalisses en lloc de la qualitat visual o aspecte exterior. Sobretot si el preu de venda és raonablement no gaire més elevat. Aquesta situació es veu afavorida per la deficient qualitat organolèptica de les actuals varietats comercials.

En el moment actual té una importància clau guanyar la fidelitat del consumidor cap a un determinat producte, en base a unes característiques de qualitat interna exquisides. Cada vegada més hi ha associacions de productors i cooperatives que aposten per posar al mercat productes de qualitat organolèptica excepcional. Són precisament aquestes característiques de sabor i qualitat les que serveixen a aquests agricultors per presentar al consumidor un producte alimentari d'elit, diferenciat i únic. Paradoxalment, en aquests casos els agricultors es basen en característiques externes, fonamentalment morfològiques, per emfatitzar el caràcter únic del seu producte. És el cas del acostellat en el fruit de tomaca de la varietat tradicional 'Mutxamel' o el apuntament del fruit en la varietat 'Valenciana'. En aquest context i per acabar de perfilar el disseny d'un producte atractiu per al consumidor pot ser molt interessant associar característiques saludables com un elevat contingut en vitamines o substàncies antioxidants beneficioses per a la salut. Davant d'aquest tipus de productes hortícoles el consumidor pot estar disposat a consumir pagant preus de vegades molt més elevats que els corresponents a les varietats hortícoles comercials.

3.- Les varietats tradicionals de tomaca valencianes.

No es coneixen registres exactes sobre l'inici del cultiu de la tomaca a València. No obstant això, al segle XVIII el seu cultiu ja estava estès per

tota la península (Quer, 1762-1784). Des de llavors, tots els tractats consultats si fan esment al cultiu de la tomaca no recullen una descripció de les característiques de les varietats conreades ni del seu nom local. Només a principis del segle XX es poden trobar algunes referències a varietats conreades a València. Encara llavors, els noms emprats no ofereixen molts detalls. Així, es distingeixen els tipus "encarnat, primerenc gran (d'embarcament), comú, rugós, xicotet i pera" (Junta Consultiva Agrària, 1914).

Es coneix que una bona part de la producció d'aquesta hortalissa ja s'exportava a mitjan del segle XX a l'estranger, especialment les produccions més primerenques. Ja era de les hortalisses més important junt al meló i la síndria (Junta Consultiva Agrària, 1914). La importància del cultiu d'aquesta hortalissa va afavorir la selecció realitzada pels agricultors durant decennis d'anys i el desenvolupament de nombroses varietats tradicionals, que es caracteritzen per la seva àmplia diversitat i qualitat organolèptica, com són les que avui coneixem com 'Valenciana', 'Mutxamel', 'De Pruna', 'Forma Pimentó', 'De Penjar' i 'De Borseta'. No obstant això existeixen molts tipus locals de difícil catalogació.

3.1.- Principals tipus varietals de tomaca valencians.

3.1.1.- Tomaques tipus "cor".

Sota aquesta denominació solen englobar-se les varietats que presenten fruits en forma de cor, però sense presentar un terminal de floració prominent característic del tipus varietal "Valenciana" (Figura 4). És un tipus de tomaca que es sol trobar pels diferents territoris valencians. Els fruits solen ser molt sucosos, de gran solidesa i amb lòculs poc definits.



Figura 4.- Foto de grup de fruits del tipus varietal "Cor".

3.1.2.- Tomaques tipus "de borseta".

Cal no confondre aquest tipus de tomaca amb el tipus "De Pruna". Són tomaques típiques de les comarques del sud de València (territori de Oriola) (Figura 5). Així és molt fàcil localitzar-lo en localitats de la comarca del Baix Segura com Oriola o Almoradí. Són tomaques amb forma lleugerament aperada, de manera que també reben el nom de "De la Pera". Una variant d'aquest tipus no té la forma de pera típica, sinó que són tomàquets una mica allargats i amb secció rectangular. Aquestes varietats són bastants productives, amb grandària del fruit intermedi. Els fruits es consumeixen gairebé quan comença la maduració, a poc d'iniciar el canvi de color. Si es deixen madurar més temps, el teixit placentari es fa aquós, restant atractiu al fruit.

Tenen dos o tres lòculs, separats per parets gruixudes. El pericarpí també té un gruix considerable i roman dur durant força temps. Aquesta condició els fa ideals per a farcir, ja que el buidatge del fruit és molt fàcil. Aquestes varietats tenen muscles verds persistents, una cicatriu peduncular petita, i no solen presentar problemes de clavillat.



Figura 5.- Foto de grup de fruits del tipus varietal "De Borseta"

3.1.3.- Tomaques tipus "de penjar".

Aquestes tomaques es caracteritzen per tenir la maduració alterada. Així, podríem considerar aquestes varietats com els ancestres de les actuals varietats denominades de llarga vida. En aquest sentit, antany aquestes tomaques es recollien quan s'iniciava el canvi de color i es penjaven en penjolls en llocs frescos i airejats. D'aquesta manera es podien conservar durant diversos mesos, en els quals es mantenien sucosos. Aquesta pràctica està en l'actualitat en desús, ja que a l'haver en el mercat tomàquets durant tot l'any, procedents de tot el món, ja no cal recórrer a aquestes varietats per a menjar a l'hivern.

En general es tracta de tomàquets petits de forma arrodonida o oblonga (Figura 6), amb pell transparent o groga. En el cas de varietats de pell transparent el tomàquet adquireix una tonalitat rosat-groguenca i en el cas de tenir pell groga es queda en tons ataronjats. Tenen el pericarpí en general engrossit i dur, i dos o tres lòculs com a màxim.



Figura 6.- Foto de grup de fruits del tipus varietal "De Penjar"

3.1.4.- Tomaques tipus "de pruna".

Són les típiques tomaques de forma oblonga i de mida petita, usats per a cuinar o per a conserva (Figura 7). Tenen una elevada facilitat per pelar i poden arribar a ser molt productius. És molt fàcil trobar aquest tipus tant en camp com al mercat. No obstant això, el que ja no és tan fàcil és saber diferenciar quines són les varietats comercials actuals i quines són les antigues varietats tradicionals. En aquest sentit, l'adopció pels agricultors de varietats comercials modernes d'aquest tipus varietal ha ocasionat la pèrdua d'una gran quantitat de varietats tradicionals del tipus "De Pruna".



Figura 7.- Foto de grup de fruits del tipus varietal "De Pruna"

3.1.5.- Tomaques tipus "mutxamel".

Aquest tipus de tomaques es troba principalment a les comarques del sud de València (territori d'Oriola), i de forma molt freqüent en els voltants de la localitat de Mutxamel, d'on rep el nom. Pot arribar a haver-hi una certa polèmica pel que fa a quin és el veritable fruit "Mutxamel". En principi es tracta de tomaques aplanades, amb un acostellat variable i muscles verds persistents (Figua 8). Durant la maduració, la tomaca presenta uns muscles verds característics, que es van difuminant i es barregen amb taronges i vermells, que li donen al fruit una coloració molt cridanera.

En general, aquestes tomaques tenen un gran nombre de lòculs, amb una distribució força regular, alguns d'ells de grans dimensions, i un cor que ocupa la major part del fruit. En alguns casos també es poden trobar lòculs a l'interior del cor. El pericarpi sol ser gruixut i dur. La cicatriu peduncular és gran, amb una àmplia zona corxosa, i els fruits poden tenir un moderat clavillat radial. L'acostellat típic d'aquestes tomaques va lligat sovint a un lleuger buidat. No obstant això, igual que la intensitat de l'acostellat, és variable depenent de la varietat concreta.



Figura 8.- Foto de grup de fruits del tipus varietal "Mutxamel".

3.1.6.- Tomaques tipus "pimentó".

D'entre tots els tipus, és el més fàcil de diferenciar. Són tomaques molt allargades, que en la seva forma recorden a un pebrot tipus "italià" (Figura 9). Tenen muscles verds persistents i, en general, és freqüent que aparegui un clavillat radial moderat, que en ocasions pot ser greu i ser causa d'importants destriaments. Tenen de dos a quatre lòculs, difícils de diferenciar, ja que en molts casos les parets loculars s'arriben a fusionar amb el pericarpi, sobretot a meitat de la longitud del fruit, donant una estructura particular a aquest. Pot presentar, de vegades, un moderat buidat. Tant el pericarpi com la carn del cor del fruit presenten un vermell molt intens. La maduració és molt accelerada i és molt sensible als danys per cops especialment la part terminal del fruit. El nombre de llavors és reduït, la qual cosa pot plantejar problemes a l'hora de la conservació d'aquest tipus varietal.



Figura 9.- Fotografia de disposició de fruits del tipus varietal "Pimentó".

3.1.7.- Tomaques tipus "plana".

Aquest tipus varietal es caracteritza per presentar uns fruits amb una forma clarament aplanada (Figura 10). Fruits molt més amples que alts. A més, aquests fruits presenten una gran solidesa amb un gran nombre de lòculs de distribució altament irregular.



Figura 10.- Fotografia de grup de fruits del tipus varietal "Plana".

3.1.8.- Tomaques tipus "redona".

Aquest tipus varietal es caracteritza per presentar fruits amb una amplària molt similar a l'altura (Figura 11). Presenten una maduració a vermell intens i muscles persistents. Les tomaques tenen un interior caracteritzat per un gran nombre de lòculs, moltes vegades de distribució irregular.



Figura 11.- Fotografia de grup de fruits del tipus varietal "Redona".

3.1.9.- Tomaques tipus "valenciana".

L'apel·latiu "Valenciana" s'ha emprat indiscriminadament fora de València per a nomenar qualsevol varietat originada en els diferents territoris valencians. No obstant això, l'autèntic tipus varietal "Valenciana" engloba un tipus de tomaques amb un conjunt de característiques molt específiques (Figura 12). Aquest tipus varietal és molt freqüent en les zones de cultiu de l'anomenada Plana de València associada a les riberes dels rius Xúquer, Túria i Palància i molt especialment a l'horta de la ciutat de València. No obstant això, el seu cultiu s'ha estés a causa de les seves excel·lents característiques de qualitat.

El tipus varietal "Valenciana" es caracteritza per presentar tres morfologies de fruit dins de la mateixa planta. La primera, més apreciada és la "masclet". És la morfologia de fruit que identifica aquest tipus varietal. Es tracta de fruits amb forma de cor, en els que s'allarga la regió pistil·lar donant-los la forma apuntada característica de la varietat. Són els fruits que arriben a un major preu de venda al mercat. El segon tipus de fruit és el tipus "femella". Aquest correspon a un fruit entre lleugerament aplatat i de cor, generalment amb la regió pistil·lar indentada i amb cicatriu pistil·lar oberta. Posseeixen la mateixa qualitat organolèptica que els del tipus "masclet", però s'aprecien menys al mercat, a causa que no corresponen a la morfologia típica de la varietat. El tercer tipus de morfologia de fruit és el "rotllo". És un tomàquet aplanat, deforme, que sol produir-se a partir de la primera flor de cada pomell floral i que es desenvolupa irregularment a causa d'una fasciació de la flor. Això és especialment important en el primer pomell de les plantes. Si en altres varietats aquests fruits es rebutjarien, els del tipus "Valenciana" es poden

vendre, a causa de l'elevada qualitat organolèptica, que preval sobre la qualitat externa o visual.

En qualsevol dels tres tipus, el fruit té un múscle verd persistent i un color vermellós, sovint de menor intensitat que el de les varietats comercials. La coloració des del moment de la recol·lecció fins als primers estats de maduració és característica i molt apreciada. En general, tant el tipus "masolet", com el "femella" tenen lòculs petits distribuïts de forma irregular al voltant d'un cor de secció circular i de grans dimensions. És freqüent trobar lòculs a l'interior del cor.

És característica l'aparició d'un lleuger a moderat clavillat circular discontinu i un lleuger o moderat clavillat radial que suberifica. Tots dos clavillats donen un aspecte rústic al fruit que pot convertir-se en "marca d'origen", ja que les varietats comercials no solen presentar aquestes característiques. Aquest clavillat no es presenta quan aquest tipus varietal es conrea en hivernacle, encara que aquest tipus de cultiu no compromet en absolut la qualitat interna dels fruits.



Figura 12.- Fotografia de grup de fruits del tipus varietal "Valenciana".

4.- La posada en valor de les varietats tradicionals de tomaca valencianes.

4.1.- Varietats tradicionals valencianes de tomaca explotades comercialment.

Hi ha, a València, alguns casos de varietats tradicionals que estan fent-se un lloc en el mercat, constituint alternatives molt interessants per als agricultors des del punt de vista de la rendibilitat econòmica.

4.1.1.- El cas de la varietat de tomaca 'valenciana'.

El conjunt de característiques descrites per a la tomaca 'Valenciana' possibiliten la seva posada en el mercat com un producte de qualitat interna excepcional i característiques externes peculiars, que li confereixen un caràcter diferenciat i únic. Aquestes circumstàncies estan possibilitant que el mercat ofereixi a totes les campanyes preus bastant elevats per la varietat tradicional 'Valenciana' enfront de les varietats comercials normals. És a dir, hi ha un sector del mercat i de consumidors que estan disposats a assumir un preu de venda més per uns fruits més carnosos, amb una aroma i sabor característics; sobretot si es comparen amb els fruits de les varietats comercials poc carnosos, amb molta polpa aquosa i amb un gust deficient (Casañas, 2006). Aquest tipus de consumidor dóna una menor importància a l'aspecte extern i uniformitat. Fins i tot pot identificar la manca d'uniformitat com un dels distintius d'una tomaca tipus "tradicional" i per tant de més qualitat interna.



Figura 13.- Taulell d'un lloc de venda del Mercat Central de València on es pot veure el preu del tipus varietal "Valenciana".

Hi ha organitzacions de productors com la Cooperativa Unió Protectora d'El Perelló que han decidit apostar per l'explotació del tipus varietal "Valenciana". Aquest tipus de tomaca es pot recol·lectar en estat entreverat sense comprometre el que el fruit arribe a un vermell intens quan madura i conserve unes excepcionals característiques de qualitat organolèptica. Això permet la comercialització d'aquest tipus de tomaca en àrees bastant allunyades de les comarques valencianes com les zones consumidores de grans ciutats com Barcelona, Saragossa o Madrid. En general, tant el tipus "mascllet", com el "femella" tenen lòculs petits distribuïts de forma regular al voltant d'un cor de secció circular i de grans dimensions. Aquestes circumstàncies donen al fruit una gran solidesa i carnositat. Aquesta última característica és un dels atributs de qualitat més

important de la tomaca 'Valenciana' i que permet la seva comercialització sense presentar problemes de danyat del fruit.

Com s'ha citat, aquest tipus varietal presenta l'aparició d'un lleuger a moderat clavillat concèntric discontinu i un lleuger o moderat clavillat radial que presenta suberificació. Tots dos clavillats no es presenten quan es conrea sota hivernacle. Aquesta circumstància contribueix de manera molt important a facilitar la seva comercialització obviant problemes de podriments del fruit a partir de les esquerdes del fruit.

El fet de presentar un major preu de venda al públic ha fet que es produeixin fraus en el cas de la tomaca 'Valenciana'. Així, en algunes ocasions es pot trobar tomaca al mercat amb el distintiu de 'Valenciana' quan no ho és. Simplement es tracta de tomaques d'una varietat comercial tractades amb auxines de síntesi per provocar un apuntament dels fruits i poder-los vendre com si es tractessin del tipus varietal 'Valenciana'. Aquest tipus de situacions no contribueixen més que a confondre el consumidor, minvant la posició d'aquells agricultors que han decidit apostar pel cultiu i comercialització de la veritable varietat tradicional. Aquestes situacions de frau exigeixen la tipificació de la tomaca 'Valenciana'. Per això és necessari realitzar una caracterització morfològica, agronòmica i de qualitat (Raggi et al., 2013). Addicionalment la realització d'una caracterització genètica i obtenció d'una empremta genètica constituïran eines de protecció enfront dels fraus esmentats i ser garantia per als agricultors que es decideixin pel cultiu d'aquest tipus varietal. La tipificació de la tomaca 'Valenciana' constitueix, a més, un pas necessari per a l'establiment d'una marca de qualitat associada. Això contribuirà de forma decisiva al caràcter únic i diferenciat d'aquest tipus varietal i per tant a assegurar un major preu de venda (Ramón Fernández, 2001; Escribà et

al., 2010). Així, en alguns casos com el de les varietats de llentilla italianes el manteniment del seu cultiu s'ha associat al desenvolupament de marques de qualitat de la Unió Europea (Piergiovanni, 2000). Es tracta d'evitar que aquells productes que han adquirit una certa reputació, es vegin perjudicats per imitacions amb uns nivells de qualitat inferiors. La creació de marques de qualitat com la Denominació d'Origen Protegida (DOP), Indicació Geogràfica Protegida (IGP) o Especialitat Tradicional Garantida (ETG) contribueix a afermar la seva diferenciació com a producte i a la seva protecció davant imitacions. Així a València, hi ha com a collides a aquestes marques de qualitat productes com l'arròs de València, les Cireres de la Muntanya d'Alacant, la Xufa de València, el Kaki Ribera del Xúquer o del Raïm de taula embossada "Vinalopó". També l'ús de la marca de qualitat CV, pot contribuir a la consolidació del caràcter diferenciat d'aquest tipus de productes.

En altres ocasions, tot i que la tomaca 'Valenciana' presenta uns atributs de qualitat destacats, porta associada una inestabilitat de les produccions a causa de la incidència de malalties (Cebolla-Cornejo et al., 2001). Això pot ocasionar el que l'agricultor aposti per un altre tipus de varietats, abandonant el cultiu de la varietat tradicional. Així, és important emprendre com a mesura de suport per al cultiu d'aquestes varietats la seua millora genètica, especialment per malalties que limiten el seu rendiment com les d'origen víric com és el cas de la causada pel virus del mosaic de la tomaca (ToMV) (Soler et al., 2010). En aquest sentit, algun grup de treball ja ha estat treballant en la millora genètica de la resistència a aquest mateix virus en la varietat tradicional 'Mutxamel' (García-Martínez et al., 2013a; 2013b).

4.1.2.- El cas de la tomata "de penjar".

El tipus varietal "De Penjar" constitueix un altre cas de varietat tradicional de tomaca que pot arribar a ser una alternativa rendible per als agricultors valencians. A partir dels anys 40 fins a l'actualitat, el cultiu de la tomaca de penjar ha anat adquirint un caràcter tradicional que, unit a la cura artesanal dels conreadors i a les particularitats geològiques i climatològiques del terme d'Alcalà de Xivert ha aconseguit diferenciar substancialment aquesta tomaca d'altres tipus varietals (Figura 14). Això va despertar l'interès dels consumidors i comercialitzadors de Catalunya a partir de la segona meitat de la dècada dels anys 80, arribant en l'actualitat a absorbir el mercat català el total de la producció de tomaca de penjar d'Alcalà de Xivert.



Figura 14.- Presentació en penjoll cosit de la "tomata de penjar d'Alcalà de Xivert".

El 2007 es va crear l'Associació de Productors i Comercialitzadors de tomata de penjar d'Alcalà de Xivert per revaloritzar aquest tipus de tomaca. En el seu afany per preservar el cultiu tradicional, crear marca i obrir així nous mercats, l'associació va aconseguir al desembre de 2008 la

Marca de Qualitat CV per a la tomata de penjar d'Alcalà de Xivert. Amb aquesta marca, concedida per la Generalitat Valenciana, es distingeix i posa en valor la singularitat d'aquesta tomaca única i es garanteix la seva qualitat, la seva producció tradicional i el seu valor ecològic.

La "tomata de penjar d'Alcalà de Xivert" deu principalment les seves qualitats organolèptiques al clima i l'aigua utilitzada per al seu cultiu. Per això les autèntiques varietats que conformen aquesta marca de qualitat de tomàquet han de provenir del terme municipal d'Alcalà de Xivert, al nord de València (territori foral de Castelló), un paratge d'hortes, ric en aigües on el nivell de sal és el precís per atorgar-li a aquests tomàquets el seu particular sabor. La tomata de penjar d'Alcalà de Xivert es comercialitza i es consumeix actualment com a producte fresc al llarg de tot l'any. Té un color vermell intens que adquireix un cop collida, poc després de romandre penjada. La seva pell és molt fina i la polpa molt abundant, així com el seu suc. El sabor és intens i dolç, i la seva acidesa escassa.

4.2.- Importància de les varietats tradicionals de tomaca valencianes com a alternativa rendible per als agricultors.

Tenint en compte la similitud de característiques entre el sistema de cultiu emprat en l'agricultura ecològica i els sistemes de cultiu de l'agricultura tradicional on s'han creat les varietats tradicionals, aquestes poden ser molt adequades per a l'ocupació pels agricultors que de forma creixent es van incorporant als sistemes de producció agrícola ecològica. Així, en Espanya la superfície de cultiu ecològic s'ha incrementat des de les 4.230 ha en 1991 a 1.845.040 ha en 2011 (Magrama, 2012). Es a dir, ens trobem davant d'un sector amb una importància creixent.

Així, l'agricultura ecològica, pot constituir un suport a la recuperació del cultiu de varietats tradicionals de tomaca, ja que aquestes constitueixen un material idoni per a aquest tipus de cultiu. Les varietats tradicionals estan adaptades a les condicions agroclimàtiques de la zona on van ser obtingudes, mostrant en aquestes condicions un comportament òptim. Igualment, les excepcionals característiques de qualitat d'aquests materials, per la seva selecció durant anys, concorden amb les exigències del consumidor dels productes ecològics, que busca un producte tradicional que destaquí per les seves característiques de qualitat interna i no per la seva aparença exterior.

En aquest sentit, tot i que l'agricultura ecològica pot ser un punt de suport a la recuperació del cultiu de les varietats tradicionals de tomàquet valencianes, la seva posada en valor passa de manera necessària en focalitzar les seves característiques de qualitat i les seves excel·lències per sobre del sistema de cultiu emprat en la seva explotació comercial. Com s'ha ressaltat anteriorment en el cas de la tomaca tipus "Valenciana" i tipus

"De Penjar", les varietats tradicionals presenten uns atributs de qualitat destacats, la qual cosa condueix en molts casos a l'obtenció de majors preus de venda al mercat.

Un altre factor que pot condicionar la potenciació del cultiu de varietats tradicionals de tomaca és l'elevada susceptibilitat a malalties que presenten. En concret, a València són especialment importants aquelles d'etiologia viral. Així, aquesta susceptibilitat és un dels factors que poden limitar la seva acceptació per part dels agricultors i per tant, la recuperació del seu cultiu. En el cas de les varietats tradicionals de tomaca hi ha tres virosis d'especial importància: les causades pel virus del mosaic de la tomaca (*Tomato mosaic tobamovirus*, ToMV), el virus del bronzejat de la tomaca (*Tomato spotted Wilt Tospovirus*, TSWV) i el complex del virus de l'arissat groc de la tomaca (*Tomato yellow leaf curl begomovirus*, espècies TYLCV i TYLCSV). En els tres casos esmentats es disposa de gens de resistència que incorporen les varietats comercials i que han contribuït a reduir els efectes limitants de la producció d'aquestes virosis. La incorporació d'aquests gens de resistència en varietats tradicionals permetria potenciar el seu cultiu i convèncer molts agricultors de la rendibilitat que poden presentar aquestes varietats tradicionals.

El foment de la utilització de les varietats tradicionals de tomaca valencianes està associat a una completa caracterització i avaluació de les varietats tradicionals valencianes disponibles, perquè puguin ser emprades en programes de millora. Aquestes tasques han de realitzar-se de forma coordinada amb els agricultors o associacions de productors. Aquesta coordinació permetrà la identificació de materials vegetals d'interès o oportunitats comercials. Aquests materials d'interès poden ser susceptibles de millora, com és el cas de la introducció de determinats gens de

resistència. D'altra banda, pot ser molt important l'associació de marques de qualitat per acabar de dissenyar un producte diferenciat i amb possibilitats de consolidar-se com una alternativa rendible per als agricultors valencians.

5.- Tomates tradicionals de la Vall d'Albaida

Actualment, al territori foral de “Dellà lo riu Xúquer” o també coneguda com “Governació de Xàtiva” hi queden múltiples àrees d'horta de caràcter històric. Aquest són els casos de les hortes de Gandia, Dènia o de ciutats més properes com Ontinyent o Albaida. Però, no només als nuclis més importants del territori foral de Xàtiva hi han hortes històriques. Hi ha molts pobles que tenen hortes molt antigues aprofitant els cursos d'aigua natural de rius o fonts. És el cas de molts pobles de la comarca de la Vall d'Albaida. Al voltant de pobles com Agullent, Bocairent i Ontinyent hi ha zones d'horta molt antigues. Aquestes zones es caracteritzen per la petita propietat agrària amb elevats nivells de minifundisme. Moltes d'aquestes propietats són conreades per agricultors d'avançada edat i amb un risc molt elevat de desaparició a curt termini (Ferrer Ripollès i Saragossa Rovira, 1980). És a dir, moltes d'aquestes varietats tradicionals de tomata (Figura 16) i altres hortalisses, es troben en un perill real de desaparició. La desaparició dels agricultors que porten aquestes parcel·les pot comportar la pèrdua de varietats tradicionals amb un potencial econòmic molt important

Evitar la pèrdua d'aquestes varietats de tomata passa per promoure el seu cultiu en les hortes dels pobles citats. Aquesta estratègia necessita de forma prèvia posar en valor les varietats tradicionals d'hortalisses en les

seves zones d'origen, mitjançant la recuperació de la seva explotació comercial (Casañas, 2006). Aquesta posada en valor passa per determinar i divulgar els atributs de qualitat interna de les hortalisses en lloc de la qualitat visual o aspecte exterior. No obstant, l'aspecte exterior pot ser molt important en potenciar o crear una varietat tradicional o producte tradicional de qualitat que constituïska a la volta un producte diferenciat de la resta de varietats comercials existents al mercat. Així, és necessari realitzar una caracterització morfològica, agronòmica i de qualitat (Raggi *et al.*, 2013). Aquesta caracterització permetrà tipificar les varietats tradicionals de tomata com a pas necessari per a l'establiment d'una marca de qualitat associada. Això contribuirà de manera decisiva al caràcter únic i diferenciat d'un determinat tipus varietal i per tant a assegurar un major preu de venda (Ramón Fernández, 2001; Escriba *et al.*, 2010).

També a la Vall d'Albaida existeixen varietats tradicionals de tomata (Figura 15), que poden ser potencialment interessants (Figura 16, 17 y 18). Així hem pogut arreplegar a Agullent algunes com la “Rosada”, també anomenada “Rosada del terreny”. Aquest últim tipus varietal es caracteritza per, com no el seu color rosa, realment una mescla entre un roig apagat i un rosa amoratat. Però, sobre tot per la seua carnositat i un sabor excepcional. Volia reivindicar la importància de conservar aquest tipus varietal. Altre tipus de tomata es la “Valenciana rosada”, que hem pogut identificar a Bocairent i Ontinyent. Aquesta tomata es caracteritza per una forma apuntada típica de la famosa tomata “Valenciana”, molt carnosa i gustosa, però de color rosa. Altre tipus de tomata que referenciem al present treball es la de forma “Pimentó” que hem pogut trobar a la localitat de Fontanars dels Alforins. Aquest tipus té característiques de tomata y forma de pimentó, destacant pel color roig intens de la seua carn.

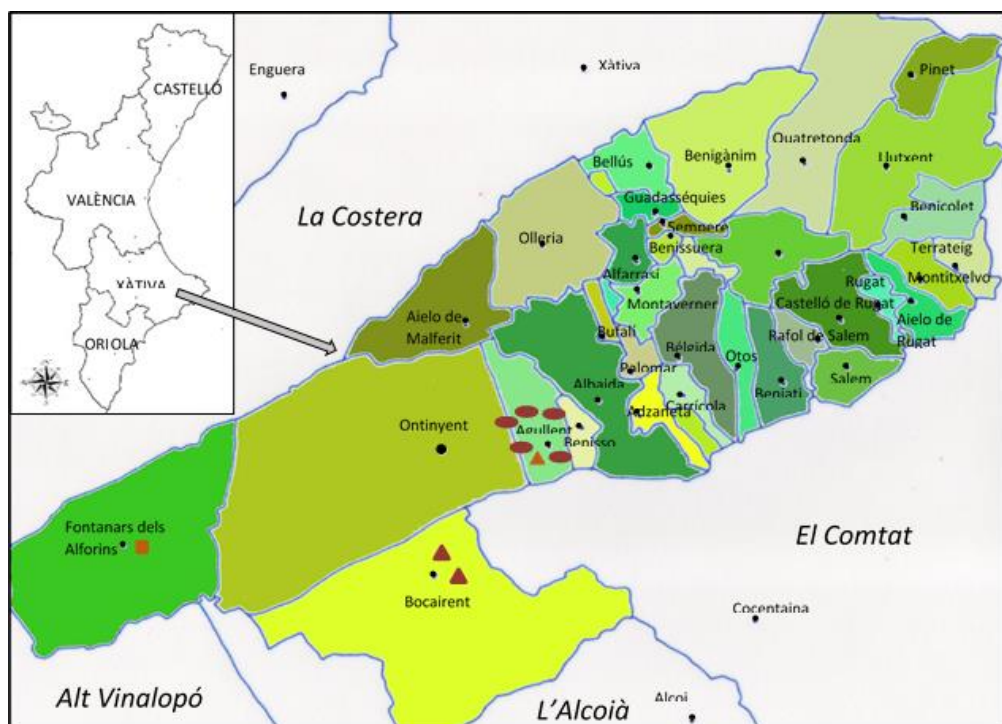


Figura 15.- Mapa de la Vall d'Albaida amb la localització de les 9 varietats de tomata considerades. Triangle, tomata 'Valenciana Rosada'; El·lipse, tomata 'Rosada del Terreny'; Quadrat, tomata 'Pimentó'.



Figura 16.- Foto de grup dels tipus de varietats considerats al treball: “Rosada del Terreny” (Esquerra), tipus “Pimentó” (centre) i “Valenciana Rosada” (dreta).



Figura 17.- Foto peduncular, de perfil i pistil·lar dels tipus de varietats considerats al treball: “Rosada del Terreny” (Esquerra), tipus “Pimentó” (centre) i “Valenciana Rosada” (dreta).



Figura 18.- Foto de fruits immadurs en mata dels tipus de varietats considerats al treball: “Rosada del Terreny” (Esquerra), tipus “Pimentó” (centre) i “Valenciana Rosada” (dreta).

En aquests tres tipus de varietats es importantíssim procedir a la seua caracterització morfològica i agronòmica. En treballs realitzats fins ara, hem procedit a realitzar una caracterització morfològica i agronòmica de un conjunt de 9 varietats de tomata tradicional de la Vall d’Albaida: 5 de tomata “Rosada del Terreny”, 3 de “Valenciana Rosada” i una de “Pimentó” (Tabla 1). Aquest treball s’ha realitzat a la Universitat Politècnica de València. Els resultats obtinguts ens ha permès determinar les característiques pròpies de cada varietat i de forma paral·lela, seleccionar-la per a una major uniformitat i producció, sense alterar les seues característiques. Els resultats obtesos són molt prometedors (Tabla 1). En el cas de la tomata “Rosada del Terreny”, les 5 entrades provades han presentat una producció per planta entre 5 y 8 Kg. En la “Valenciana Rosada” la producció oscil·la entre els 4,15 y casi el 5 kg per planta i en el tipus “Pimentó” el valor estigué al voltant dels 4 Kg. També és molt important el fet que dintre de la varietat “Rosada del Terreny” hi ha

diferencia a nivell de producció, amb entrades molt productives (més de 8 kg/planta) y a nivell de grandària de fruit. La caracterització per característiques de qualitat (vitamina-C, licopè, compostos antioxidants, etc.), que està fent-se a la actualitat ens permetrà determinar i acabar de posar en valor aquestes varietats.

D'aquesta manera, en un futur, la tomata “Rosada del Terreny”, “Valenciana Rosada” o “Pimentó” podria constituir una alternativa rendible per als llauradors de la Vall d'Albaida. Per a tindre èxit en aquesta tasca es importantíssim tindre un material millorat, amb unes característiques de forma, color y qualitat distintives. L'objectiu és col·locar en el mercat un producte diferenciat, amb una qualitat elevada, pel qual el consumidor estiga disposat a pagar un preu major que per les varietats comercials normals. Evidentment, no es pot deixar la comercialització a intermediaris; s'han de crear els canals de comercialització i gestionar-los el mateix productor. Açò que es proposa ací, ja ho estan fent, com hem vist, agrupacions de llauradors d'El Perelló amb la tomata “Valenciana”, o associacions de productors d'Alcalà de Xivert amb la tomata “De Penjar”.

Taula 1.- Característiques agronòmiques de 8 entrades de tomata tradicionals de la Vall d'Albaida.

Entrada	Localitat d'origen	Tipus de varietat	Pes de fruit mig^a	Producció per planta mínima^b	Producció per planta màxima^c	Producció per planta mitja^d
AG1	Agullent	“Valenciana Rosada”	135,6	2,60	4,15	3,35
AG2	Agullent	“Rosada del Terreny”	353,6	1,45	5,68	3,90
AG3	Agullent	“Rosada del Terreny”	247,5	0,98	5,00	3,11
AG4	Agullent	“Rosada del Terreny”	390,5	2,70	6,45	4,58
AG5	Agullent	“Rosada del Terreny”	452,1	3,53	8,20	5,42
AG6	Agullent	“Rosada del Terreny”	215,7	3,40	5,25	4,23
BOC1	Bocairent	“Valenciana Rosada”	240,7	2,84	4,51	3,81
BOC2	Bocairent	“Valenciana Rosada”	217,5	3,50	4,90	4,40
FONT1	Fontanars dels Alforins	“Pimentó”	141,2	2,18	4,07	3,22

a: valor mig del pes del fruit per a cada varietat considerada (g).

b: valor de producció per planta més baix de 7 plantes provades per a cada varietat (kg).

c: valor de producció per planta més alt de 7 plantes provades per a cada varietat (kg).

d: valor mig de producció per planta calculat a partir de 7 plantes provades per cada varietat (kg).

Des d'ací m'agradaria animar als llauradors dels pobles de la Vall d'Albaida a recuperar el cultiu de les varietats tradicionals de tomata de la zona. Com a científics quedem a la disposició de qui decidisca compartir amb nosaltres aquest patrimoni valencià i junts utilitzar-lo per a aconseguir posar en valor unes varietats que podem contribuir, pensem que de forma important, al manteniment de la nostra agricultura i la conservació del nostre patrimoni agrícola valencià.

Referències bibliogràfiques.

- Ballester Olmos, J.F. (1999). El jardín valenciano. Editorial U.P.V., Valencia, España. 524 pp.
- Bouma, J., Varallgay, G., Batjes, N.H. (1998). Principal land use changes anticipated in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67: 103-119.
- Casañas, F. (2006). Varietats tradicionals, obtenció de cultivars amb característiques organolèptiques superiors i agricultura en espais periurbans Catalans. *Quaderns Agraris*, 30: 117-127.
- Cavanilles, A.J. (1974). Huerta de Valencia y sus cercanías occidentales. En: *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y Frutos del Reyno de Valencia* (Vol. 1). Madrid. Segunda edición (1958). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Zaragoza, Madrid. Pag. 183-227.
- 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., Soler, S., Valcárcel, J.V., Fernández de Córdoba, P., Nuez, F. (2001). Las variedades tradicionales de cultivos hortícolas: recuperando un pasado. *Vida Rural*, 133: 42-45.
- Escribá, C., Baviera, A., Buitrago, J.M. (2010). Marcas de calidad agraria en la Comunidad Valenciana. En: *El derecho civil valenciano tras la*

- reforma del estatuto de autonomía. Ed.: Ramón Fernández, F. Tirant. Valencia, España.
- Ferrer Ripollés, M.A., Zaragoza Rovira, G. (1980). El país valencià. Anaya. Madrid, España. 258 pp.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández de Córdoba, P., Fita, A., Soler, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 62: 189-204.
- García-Martínez, S., Alonso, A., Rubio, F., Grau, A., Valero, M., Ruíz, J.J. (2013a). Nuevas líneas de mejora de tomate Muchamiel resistentes a virus obtenidas en el programa de mejora genética de la EPSO-UMH. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid.
- García-Martínez, S., Alonso, A., Rubio, F., Grau, A., Valero, M., Ruíz, J.J. (2013b). Líneas de tomate “De la Pera” obtenidas en la Universidad Miguel Hernández resistentes a diversas virosis. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid.
- Junta Consultiva Agraria. (1914). Avance estadístico de la riqueza en España representa la producción media anual de las plantas hortícolas y plantas Industriales. Ministerio de Fomento. Madrid, España. 466 pp.
- Martínez, M.M. (2002). La administración de justicia andalusí en materia de riegos. El tribunal de las Aguas de Valencia en la Edad Media. En: La herencia árabe en la agricultura y el bienestar de occidente. Nuez, F. (Ed.). Editorial U.P.V. Valencia, España. Pag. 371-411.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Estadísticas agricultura. Superficies y producciones anuales de cultivos. www.magrama.org.es
- Piergiovanni, A.R. (2000). The evolution of lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivation in Italy and its effects on the survival of autochthonous populations. *Genetics Resources and Crop Evolution*, 47: 305-314.
- Raggi, L., Tiranti, B., Negri, V. (2013). Italian common bean landraces: diversity and population structure. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60: 1515-1530.

- Ramón Fernández, F. (2001). La regulación de la marca de calidad “CV” en los productos agrarios y agroalimentarios de la Comunidad Valenciana. En: “ Régimen jurídico de la seguridad y calidad de la producción agraria”. IX Congreso Nacional de Derecho Agrario. Logroño, España. pp. 258.
- Roselló, J. (2012). Los pimientos del verano. *Métode*, 74: 108-109.
- Sanchís Guarner, M. (1972). *La ciutat de València* (2ª edición). Ayuntamiento de Valencia, Valencia, España. 602 pp.
- Soler, S., Prohens, J., López, 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.
- Tarradell, M., Sanchís Guarner, M. (1965). *Història del País Valencià* (vol.1). Edicions 62 S.A., Barcelona, España. 392 pp.
- Zeven, A.C. (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.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es obtener información relevante para los programas de mejora genética de variedades tradicionales valencianas de tomate para la puesta en valor de las mismas. Por una parte realizar la caracterización morfológica, agronómica y de calidad de colecciones de este tipo de variedades que permitan obtener información sobre su diversidad. Por otra, seleccionar y mejorar una variedad tradicional valenciana de tomate de gran valor comercial. También se pretende desarrollar metodologías para permitir que dichas caracterizaciones sean más útiles e informativas. Así mismo se profundizará en el estudio de la funcionalidad de diferentes tipos de descriptores dependiendo del tipo de cultivo. Esta información será de utilidad para acometer programas específicos de puesta en valor de determinados tipos varietales valencianos de importancia económica.

Para cumplir este objetivo principal se han contemplado las siguientes actividades:

1.- CARACTERIZACIÓN DE VARIEDADES TRADICIONALES VALENCIANAS DE TOMATE

1.1.- Caracterización de una colección de variedades tradicionales valencianas de tomate usando descriptores convencionales y el programa informático Tomato Analyzer.

1.2.- Caracterización de una colección de variedades tradicionales valencianas de tomate para características organolépticas y de calidad.

2.- SELECCIÓN Y MEJORA DEL TOMATE “VALENCIANA D’EL PERELLÓ”

2.1.- Estudio de la diversidad morfoagronómica y productiva de distintas selecciones masales del tomate “Valenciana d’El Perelló”.

2.2.- Establecimiento de un programa de mejora de la resistencia al virus del mosaico del tomate (*Tomato mosaic virus*, ToMV) en el tomate “Valenciana d’El Perelló”

3.- EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE DESCRIPTORES Y EFECTO Gx E EN VARIEDADES LOCALES DE TOMATE.

3.1.- Estudio de la utilidad de descriptores morfológicos para la evaluación de variedades tradicionales valencianas de tomate en distintas condiciones de cultivo.

3.2.- Estudio de la capacidad de adaptación de las variedades del tipo varietal ‘De Penjar’ al cultivo bajo invernadero.

RESULTADOS

**CARACTERIZACIÓN DE
VARIEDADES TRADICIONALES
VALENCIANAS DE TOMATE**

Capítulo 1: Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer

Maria Figàs · Jaime Prohens · María D. Raigón · Pascual Fernández-de-Córdoba · Ana Fita · Salvador Soler

Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana,
Universitat Politècnica de València, Camí de Vera 14, 46022 València,
Spain

Cita: Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández-de-Córdoba, P., Fita, A., Soler, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 62, 189-204.

<https://doi.org/10.1007/s10722-014-0142-1>

Abstract

Conventional tomato (*Solanum lycopersicum* L.) descriptors are of great utility for gross morphological characterization but may not be practical for the precise fruit description required for distinguishing closely related cultivar groups. Tomato Analyzer is a new phenomics tool that provides multiple fruit morphology data from scanned images of fruit sections. We characterized 69 accessions of local tomato varieties from the region of València (Spain) corresponding to eight cultivar groups (Borseta, Cherry, Cor, Penjar, Plana, Pruna, Redona, and Valenciana) with 64 conventional and 38 Tomato Analyzer descriptors. Significant differences were found among accessions for all traits except for five monomorphic conventional descriptors, revealing a large diversity in the collection. Significant differences were also found among cultivar groups for 36 conventional and 37 Tomato Analyzer descriptors. The groups Borseta, Cherry, Penjar, Plana, and Pruna were clearly distinct and each of them presented many significant differences with the rest of groups. Conventional descriptors did not differentiate well the Cor, Redona, and Valenciana cultivar groups, but Tomato Analyzer descriptors clearly distinguish Valenciana from Cor and Redona groups. A multivariate principal components analysis showed that with the exception of six (8.7%) accessions, the different cultivar groups (including the very similar Cor and Redona) plotted in separate areas of the PCA graph. The results have shown that combined conventional and Tomato Analyzer descriptors in conjunction with PCA analysis are a powerful tool for characterization and classification of local tomato varieties, as well as for distinguishing between related cultivar groups. This has important implications for the enhancement and protection of local tomato varieties.

Keywords Cultivar groups · Descriptors · Local varieties · Morphology · Phenomics · *Solanum lycopersicum* · Tomato Analyzer

Introduction

Local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) have been grown and selected by farmers under specific conditions of a limited geographical area and have provided the genetic background for breeding new improved varieties. Introgression of genes from wild relatives into selected materials derived from local varieties created the elite lines for the development of modern hybrid tomato varieties with multiple resistances (Díez and Nuez 2008). The loss of genetic diversity due to the replacement of local tomato varieties by improved cultivars has been in many cases mitigated by the collection and safe storage of germplasm in genebanks (Hammer et al. 2003). At present, there are more than 83.000 tomato accessions stored worldwide in *ex situ* germplasm collections (FAO 2010). Many of these accessions correspond to local varieties of cultivated tomato (Díez and Nuez 2008).

Apart from the interest of local tomato varieties as genetic resources for breeding, during the last years there has been an increasing demand by consumers for local tomato varieties with a “flavour of the past” (Brugarolas et al. 2009, Causse et al. 2010). When these local varieties are recognized with a certification or guaranteed status that protects against imitation and fakes they get an added value and represent an economically attractive alternative for local farmers and retailers (Rao et al. 2006, Cebolla-Cornejo et al. 2007, Trichopoulou et al. 2007, Brugarolas et al. 2009).

Local varieties often lack proper typification and characterization, which makes difficult identifying specific and objective distinctive characteristics for defining cultivar groups, which are established on the basis of defined similarity (Hammer 2003, Spooner et al. 2003, Hammer and Diederichsen 2009, Spataro and Negri 2013). Although molecular markers are of great utility for studying the relationships among local tomato varieties (Terzopoulos and Bebeli 2008, Mazzucato et al. 2010, Cebolla-Cornejo et al. 2013, García-Martínez et al. 2013), morphological characterization is essential to define the characteristics of local varieties for their protection and registration as recognized conservation varieties (Spataro and Negri 2013; Hurtado et al. 2014). In this respect, tomato characterization has usually been performed with conventional highly heritable morphological descriptors based on seedling, plant, inflorescence, flower, fruit, and agronomic traits (IPGRI 1996, Scott 2010, UPOV 2013). These descriptors are very useful for description of varieties but have some limitations, especially when characteristics used for establishing cultivar groups in local varieties correspond to subtle differences in fruit morphology (Scott 2010). In these cases, conventional descriptors may need to be complemented with more precise characterization tools.

Recently, a free high-throughput phenomics software tool (Tomato Analyzer) for the analysis of fruit shape and flesh colour of tomato has been developed (Brewer et al. 2006, Gonzalo and van der Knaap 2008, Rodríguez et al. 2010a, 2010b, Strecker et al. 2010). Tomato Analyzer allows scoring a large number of fruit shape and flesh colour traits from scanned images of fruit sections. Several studies have been performed with Tomato Analyzer to characterize local tomato varieties (Mazzucato et al.

2010, Scott 2010, Rodríguez et al. 2011, Panthee et al. 2013) as well as to study the genetics of fruit shape in this crop (Brewer et al. 2007, Gonzalo and van der Knaap 2008, Gonzalo et al. 2009, Rodríguez et al. 2011, 2013). These studies reveal that Tomato Analyzer is a powerful tool for precisely describing tomato fruit morphology. In consequence Tomato Analyzer may be a complementary tool to conventional descriptors for the characterization of tomato local varieties and to distinguish closely related materials.

The Mediterranean region is a secondary center of diversity for tomato and many local varieties have accumulated in the region (Hammer et al. 1999, Terzopoulos and Bebeli 2008, Mazzucato et al. 2008, 2010, García-Martínez et al. 2013). The region of València, in eastern Spain has a long time horticultural tradition and many local varieties of tomato exist in the region (Ruiz et al. 2005, Cebolla-Cornejo et al. 2007, 2013, García-Martínez et al. 2013). Although a continuous variation exists for morphology, local varieties are grouped in cultivar groups. Among others, these include the commonly known rounded (Redona), flattened (Plana), rounded heart-shaped (Cor), canning (Pruna), or cherry (Cherry) tomatoes (Díez and Nuez 2008). Other local types are less known outside the region, as the pear-shaped (Borseta), or long-storage (Penjar) tomato (Casals et al. 2012, García-Martínez et al. 2013). The latter present the *alcobaça* (*alc*) mutation, which delays ripening and allows conservation for months at room temperature (Casals et al. 2012). However, the most locally known and appreciated local tomatoes correspond to the prominently pointed heart-shaped cultivar group known as Valenciana, its name reflecting that it is a local variety native to the region of València (Cebolla-Cornejo et al. 2007).

We characterized a collection of local varieties of tomato of the region of València from different cultivar groups using conventional and Tomato Analyzer descriptors. The objective was to provide phenotypic information of relevance on the diversity and relationships of the different cultivar groups. We hypothesize that the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer will provide useful and complementary information to the one provided by conventional descriptors for describing the diversity of local tomato varieties and for detecting differences among cultivar groups. The information generated will be useful for the typification and eventual registration or recognition with a protected status of the most representative local varieties of tomato from the Spanish region of València.

Material and Methods

Plant material

Sixty-nine accessions of local varieties of tomato collected by the authors in the region of València (Spain) were used for the present study (Fig. 1). Accessions belong to eight cultivar groups commonly recognized in the region: Cherry (2), Borseta (5), Cor (7), Penjar (11), Plana (7), Pruna (5), Redona (19), and Valenciana (13) (Fig. 2). Accessions of some of the cultivar groups were mostly distributed in certain areas. For example, Penjar accessions were mostly found in the northern part of the region (Dellà lo riu Uixò demarcation and northern part of Horta i Riberes demarcation), Cor and Valenciana and Pruna in the central part (Horta i Riberes and Dellà lo riu Xúquer demarcations), and Borseta in the southern area (Dellà lo riu Xixona demarcation) (Fig. 1).

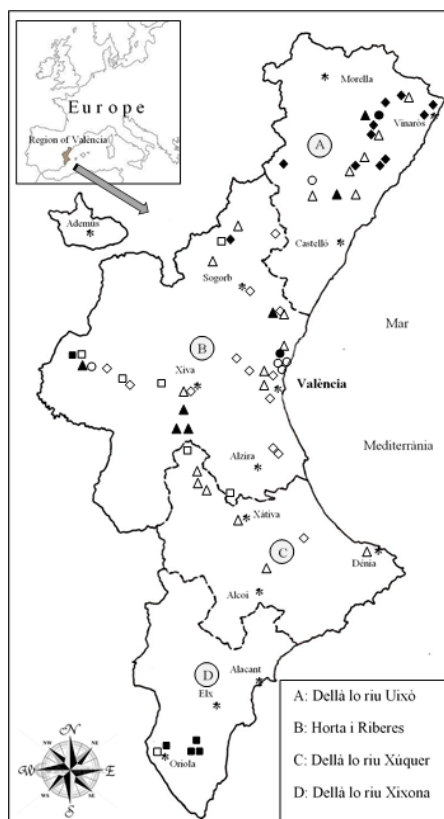


Fig. 1 Map of the Region of València, showing the geographical origin of the accessions used. The four foral demarcations (A=Dellà lo riu Uxiò; B=Horta i Riberes; C=Dellà lo riu Xúquer; D=Dellà lo riu Xixonà) and major cities (marked with an asterisk) of the region of València are indicated. The different cultivar groups are represented by different symbols: Borseta (filled square), Cherry (filled circle), Cor (filled triangle), Penjar (filled rhombus), Plana (open square), Pruna (open circle), Redona (open triangle), and Valenciana (open rhombus)

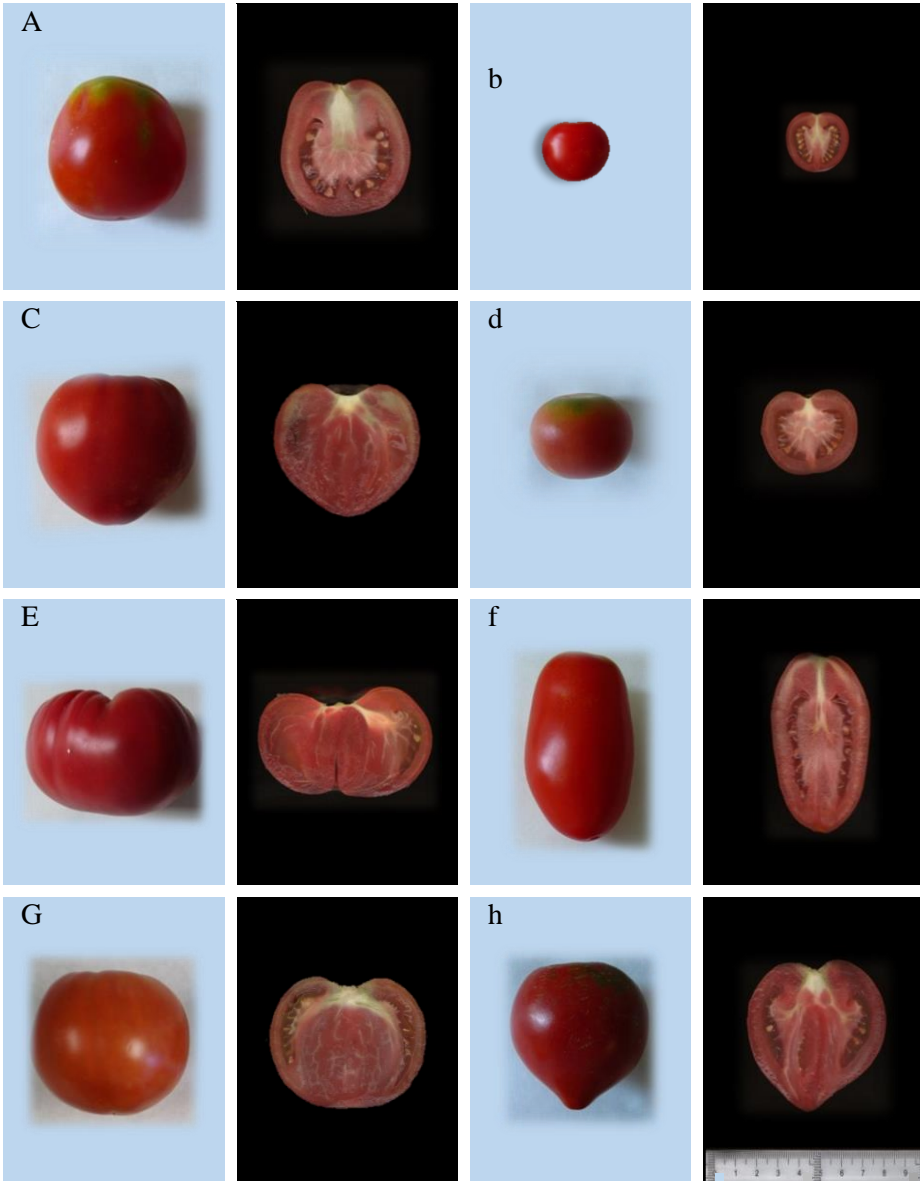


Fig. 2 Representative fruits and longitudinal sections of each of the eight cultivar groups of local tomato evaluated: a) Borseta; b) Cherry, c) Cor; d) Penjar; e) Plana; f) Pruna; g) Redona; h) Valenciana. All pictures are at the same scale (shown below right; in cm)

For each accession five plants were grown in an open-air field plot (GPS coordinates: 39°57'18"N; 0°06'57"W) in Vila-Real (Dellà lo riu Uixò, Region of València, Spain) during the spring-summer season (transplant at the end of February and harvesting peak in July-August). Average monthly temperatures ranged between 11.0°C in February to 26.6°C in July. Plants were distributed following a completely randomized design. Plants were spaced 1.2 m between the rows and 0.3 m within the row and watered with a drip irrigation system. Plants were trained with canes and cultivated using the standard horticultural practices in the area for local tomato varieties.

Conventional descriptors characterization

Individual plants were characterized using 64 conventional tomato descriptors commonly used for tomato characterization by breeders and germplasm banks (IPGRI 1996). These descriptors included seedling (5), plant (12), inflorescence and flower (11), fruit (33), and agronomic (3) descriptors (Table 1). Eighteen descriptors were quantitative, five were meristic (described by full numbers), 30 were measured in a quantitative scale, and eleven were dichotomous. Full details on the conventional characterization descriptors and their measurement can be found in the IPGRI (1996) tomato descriptors list. For most traits, several measurements were made for each plant according to the IPGRI (1996) instructions.

Table 1 Conventional descriptors used and mean and range observed in the collection of 69 local tomato varieties studied. Full details of the descriptors can be consulted elsewhere (IPGRI, 1996)

Descriptors	Units/scale	Mean	Range ^b
<i>Seedling descriptors</i>			
Hypocotyl Colour	1=Green; 4=Purple	3.08	1.00-4.00***
Hypocotyl Colour Intensity	3=Low; 7=High	4.06	2.20-7.00***
Hypocotyl Pubescence	0=Absent; 1=Present	1.00	1.00-1.00 ^{ns}
Primary Leaf Length	cm	3.61	2.34-5.78***
Primary Leaf Width	cm	0.76	0.46-1.25***
<i>Plant descriptors</i>			
Plant Growth Type	1=Dwarf; 4=Indeterminate	3.66	2.00-4.00***
Plant Size	3=Small; 7=Large	5.53	4.00-7.00***
Vine Length	cm	159	55-230***
Stem Pubescence Density	3=Sparse; 7=Dense	4.94	4.00-6.00***
Stem Pubescence Length	cm	0.51	0.40-0.70***
Stem Internode Length	cm	6.17	3.28-9.50***
Foliage Density	3=Sparse; 7=Dense	3.14	3.00-7.00***
Number of Leaves Under 1st	---	9.01	3.80-12.20***
Leaf Attitude	3=Semi-erect; 7=Dropping	5.64	4.00-7.00***
Leaf Type ^a	2=Potato leaf; 3=Standard	2.99	2.00-3.00***
Degree of Leaf Dissection	3=Low; 7=High	4.41	3.00-7.00***
Anthocyanin Colouration of Leaf	1=Obscure vein; 2=Normal	1.98	1.00-2.00***
<i>Inflorescence and flower descriptors</i>			
Inflorescence Type	1=Generally uniparous;	1.72	1.00-3.00***
Flowers per Inflorescence	---	7.09	4.80-20.20***
Corolla Colour	1=White; 3=Orange	2.00	2.00-2.00 ^{ns}
Corolla Blossom Type	1=Closed; 2=Open	1.00	1.00-1.00 ^{ns}
Petal Length	cm	1.38	1.01-1.83***
Sepal Length	cm	1.30	0.65-3.70***
Style Position	1=Inserted; 4=Highly exerted	1.61	1.00-4.00***
Style Shape ^a	1=Simple; 2=Fasciated	1.46	1.00-2.00***
Style Hairiness	0=Absent; 1=Present	0.97	0.00-1.00***
Stamen Length	cm	1.01	0.88-1.55**
Dehiscence	1=Poricidal; 2=Longitudinal	2.00	2.00-2.00 ^{ns}
<i>Fruit descriptors</i>			
Exterior Colour of Immature Fruit	1=Greenish-white; 9=Very	3.59	1.00-7.00***
Presence of Green (Shoulder) Trips on the Fruit	0=Absent; 1=Present	0.89	0.00-1.00***
Intensity of Greenback (Shoulder)	3=Slight; 7=Strong	2.99	0.00-6.00***
Fruit Pubescence	3=Sparse; 7=Dense	2.94	2.00-3.00***

Descriptors	Units/scale	Mean	Range ^b
Fruit Size	1=Very small; 5=Very large	3.08	1.00-5.00 ^{***}
Fruit Size Homogeneity	3=Low; 7=High	5.20	0.00-9.00 ^{***}
Fruit Weight	g	139.3	2.7-511.6 ^{***}
Fruit Length	cm	7.09	1.88-9.57 ^{***}
Fruit Width	cm	7.87	2.15-11.40 ^{***}
Exterior Colour of Mature Fruit ^a	4=Pink; 5=Red	4.89	4.00-5.00 ^{***}
Intensity of Exterior Colour	3=Light; 7=Dark	6.04	4.00-7.00 ^{***}
Easiness of Fruit to Detach from the Pedicel	3=Easy; 7=Difficult	4.42	1.00-7.00 ^{***}
Fruit Shoulder Shape	1=Flat; 7=Strongly depressed	4.02	1.00-8.00 ^{***}
Pedicel Length	cm	3.56	2.09-5.50 ^{***}
Pedicel Length from Abscission	cm	1.21	0.55-1.85 ^{***}
Presence of Jointless Pedicel	0=Absent; 1=Present	0.00	0.00-0.00 ^{ns}
Width of Pedicel Scar	mm	12.6	2.2-22.6 ^{***}
Size of Corky Area Around Pedicel Scar	mm	3.12	0.03-8.30 ^{***}
Easiness of Fruit Wall (Skin) to Be Peeled	3=Easy; 7=Difficult	4.91	3.00-7.00 ^{***}
Skin Colour of Ripe Fruit	1=Colourless; 2=Yellow	1.90	1.00-2.00 ^{***}
Thickness of Pericarp	mm	6.40	1.67-9.11 ^{***}
Flesh Colour of Pericarp (Interior) ^a	4=Pink; 5=Red	4.97	4.00-5.00 ^{***}
Flesh Colour Intensity	3=Light; 7=Dark	6.38	3.00-7.00 ^{***}
Colour (Intensity) of Core	1=Green; 7=Dark	5.54	2.00-7.00 ^{***}
Fruit Cross-Sectional Shape	1=Round; 3=Irregular	1.35	1.00-3.00 ^{***}
Size of Core	cm	3.22	0.83-5.13 ^{***}
Number of Locules	---	7.68	2.00-18.33 ^{***}
Fruit Blossom End Shape	1=Indented; 3=Pointed	1.91	1.00-3.00 ^{***}
Fruit Firmness (After Storage)	3=Soft; 7=Firm	4.57	3.00-7.00 ^{***}
Radial Cracking	1=Corky lines; 7=Severe	2.40	0.00-6.00 ^{***}
Concentric Cracking	1=Corky lines; 7=Severe	1.24	0.00-7.00 ^{***}
Fruit Fasciation	3=Slight; 7=Severe	2.18	0.00-7.00 ^{***}
Puffiness Appearance	3=Slight; 7=Severe	0.56	0.00-6.00 ^{***}
<i>Agronomic descriptors</i>			
Number of Days to Flowering	---	89	64-126 ^{***}
Number of Days to Maturity	---	139	103-170 ^{***}
Yield per Plant	g	1074	292-2851 ^{***}

^a Qualitative descriptor potentially polytomous, but which has been found to be dichotomous in the collection

^b ^{***}, ^{**}, ^{*}, and ^{ns} indicate significant at P<0.001, P<0.01, P<0.05, or non-significant, respectively

Tomato Analyzer descriptors characterization

Ten commercially ripe fruits per accession were longitudinally cut and scanned with an Epson Stylus SX218 photo scanner (Epson, Düsseldorf, Germany) at a resolution of 300 dpi and subjected to morphometric and colourimetric analysis with Tomato Analyzer version 3 software (Rodríguez et al. 2010a, Strecker et al. 2010). Data were recorded for a total of 38 Tomato Analyzer descriptors, which included basic (7), fruit shape (3), blockiness (3), homogeneity (3), proximal fruit end shape (4), distal fruit end shape (4), asymmetry (6), internal eccentricity (5), and colour (3) descriptors. All Tomato Analyzer descriptors were quantitative. Default settings were used for blockiness and proximal fruit end shape and distal fruit end shape descriptors (Rodríguez et al. 2010a). A complete description of these traits can be found elsewhere (Rodríguez et al. 2010a, Strecker et al. 2010).

Data analyses

Data analyses of all conventional and Tomato Analyzer descriptors were performed using standard parametric statistics (Little and Hills 1978). Mean and range values were calculated for each local variety and cultivar group, respectively. Analyses of variance (ANOVA) tests were performed on individual plant (conventional descriptors) or individual fruits (Tomato Analyzer descriptors) values to detect differences among accessions. Mean values for each accession were used to perform additional ANOVA analyses to detect differences among cultivar group means. For the conventional descriptors Fruit Weight and Number of

Locules, and for the Tomato Analyzer descriptor Area, log transformed data were used for the ANOVA tests in order to avoid scaling effects (Little and Hills 1978). Significant differences among cultivar group means were detected using the Student-Newman-Keuls (SNK) multiple range test. The number of significant differences for conventional and Tomato Analyzer descriptors between pairs of cultivar group means were calculated. Principal components analysis (PCA) were performed using pairwise Euclidean distances among accession means.

Results

Differences among accessions

Out of the 64 conventional descriptors used, highly significant differences ($P < 0.001$) among accessions were found for 58 descriptors, and significant differences ($P < 0.01$) for one of them (Stamen Length) (Table 2). The five remaining descriptors (Hypocotyl Pubescence, Corolla Colour, Corolla Blossom Type, Dehiscence, Presence of Jointless Pedicel) were monomorphic. For most of the 59 polymorphic descriptors a wide range of variation was observed in most cases, both for quantitative and meristic traits and for those measured in a scale (Table 2). This ample diversity was well exemplified in the wide range of variation for some quantitative traits, like Vine Length (55-230 cm), Flowers per Inflorescence (4.80-20.20), Fruit Weight (2.7-511.6 g), Fruit Length (1.88-9.57 cm), Fruit Width (2.15-11.40 cm), Width of Pedicel Scar (2.2-22.6 mm), Number of Locules (2.00-18.33), or Yield per Plant (292-2851 g). However, for some polymorphic descriptors the variation was limited, like for the Exterior Colour of Mature Fruit in which only two states of the

descriptors (pink or red) out of six states included in the IPGRI (1996) descriptors were found in the collection (Table 2). Also, for some descriptors, although variation was found, most accessions presented only one of the possible states of the descriptor. This was the case of Anthocyanin Colouration of Leaf Veins (mostly Normal), Style Hairiness (mostly Present), Exterior Colour of Mature Fruit (mostly Red), or Skin Colour of Ripe Fruit (mostly Yellow).

Table 2 Tomato Analyzer descriptors used and mean and range observed in the collection of 69 local tomato varieties studied. Full details of the descriptors can be consulted elsewhere (Brewer et al., 2006, 2008; Darrigues et al., 2008; Rodríguez et al., 2010a, 2010 b; Strecker et al., 2010)

Descriptors	Units	Mean	Range ^c
<i>Basic descriptors</i>			
Perimeter	mm	227	63-335***
Area	mm ²	3264	273-6086***
Width Mid-Height	mm	66.8	19.3-
Maximum Width	mm	67.6	19.4-
Height Mid-Width	mm	53.0	16.3-86.7***
Maximum Height	mm	58.8	16.8-88.0***
Curved Height	mm	61.5	18.8-88.7***
<i>Fruit shape index descriptors</i>			
Fruit Shape Index External I	---	0.90	0.62-1.87***
Fruit Shape Index External II	---	0.83	0.47-1.87***
Curved Fruit Shape Index	---	0.95	0.70-1.91***
<i>Blockiness descriptors</i>			
Proximal Fruit Blockiness	---	0.75	0.66-0.84***
Distal Fruit Blockiness	---	0.61	0.39-0.72***
Fruit Shape Triangle	---	1.26	0.95-1.91***
<i>Homogeneity descriptors</i>			
Ellipsoid	---	0.05	0.02-0.10***
Circular	---	0.09	0.03-0.22***
Rectangular	---	0.54	0.45-0.62***
<i>Proximal fruit end shape descriptors</i>			
Shoulder Height	---	0.05	0.01-0.12***
Proximal Angle Micro	Degrees	234.2	180.2-
Proximal Angle Macro	Degrees	213.4	121.1-

Descriptors	Units	Mean	Range^c
Proximal Indentation Area	---	0.10	0.02-0.26 ^{***}
<i>Distal fruit end shape descriptors</i>			
Distal Angle Micro	Degrees	168.9	121.0-
Distal Angle Macro	Degrees	152.7	104.1-
Distal Indentation Area	---	0.01	0.00-0.04 ^{***}
Distal End Protrusion	---	0.01	0.00-0.15 ^{***}
<i>Asymmetry descriptors</i>			
Obovoid	---	0.02	0.00-0.14 ^{***}
Ovoid	---	0.15	0.02-0.27 ^{***}
V.Asymmetry	---	0.12	0.02-0.36 ^{ns}
H.Asymmetry.Ob	---	0.02	0.00-0.11 ^{ns}
H.Asymmetry.Ov	---	0.21	0.02-0.46 ^{***}
Width Widest Pos	---	0.46	0.38-0.57 ^{***}
<i>Internal eccentricity descriptors</i>			
Eccentricity	---	0.72	0.60-0.79 ^{***}
Proximal Eccentricity	---	0.90	0.88-0.93 ^{**}
Distal Eccentricity	---	0.89	0.86-0.90 ^{***}
Fruit Shape Index Internal	---	0.84	0.48-1.88 ^{***}
Eccentricity Area Index	---	0.44	0.38-0.52 ^{***}
<i>Flesh colour descriptors</i>			
Average L*	---	40.2	33.4-49.3 ^{***}
Average Hue	Degrees	46.7	38.1-64.1 ^{***}
Average Chroma	---	30.2	24.4-39.0 ^{***}

a^{***}, ^{**}, ^{*}, and ^{ns} indicate significant at P<0.001, P<0.01, P<0.05, or non-significant, respectively

Regarding the 38 Tomato Analyzer descriptors evaluated, highly significant differences (P<0.001) among accessions were found for 35 descriptors and significant differences (P<0.01) for one of them (Proximal eccentricity) (Table 2). The two only descriptors for which no significant differences were found were two asymmetry descriptors (V.Asymmetry and H.Asymmetry.Ob). Wide ranges of variation were found for most of the descriptors studied in each of the descriptor categories. In this respect, the descriptors with largest variation for each of the descriptors categories

were the Area (273-6086 mm²), Fruit Shape Index External II (0.47-0.87), Fruit Shape Triangle (0.95-1.91), Circular (0.03-0.22), Proximal Indentation Area (0.02-0.26), Distal end Protrusion (0.00-0.15), H.Asymmetry.Ov (0.00-0.46), Fruit Shape Index Internal (0.48-1.88), and Average Hue (38.1-64.1). For four descriptors of the categories distal fruit end shape (Distal Indentation Area and Distal End Protrusion) and asymmetry (Obovoid and H.Asymmetry.Ob) there were accessions presenting values of 0.00.

Differences among cultivar groups

For 36 of the conventional descriptors evaluated significant ($P < 0.05$) differences were found among the means of the eight cultivar groups studied; for 28 of these descriptors the differences were highly significant ($P < 0.001$) (Table 3). Most of the significant differences found corresponded to fruit descriptors (27). In contrast, few differences were found among cultivar groups for seedling (1), plant (2), or agronomic (1) descriptors. Some of the significant differences detected among cultivar groups resulted from specific characteristics of a single cultivar group. In this respect, the Pruna group was significantly different (with lower values) to the rest of groups for the Plant Growth Type and Vine Length; the Cherry group had shorter Pedicel Length and lower Easiness of Fruit Wall (Skin) to Be Peeled than the other groups; and, the Plana group had higher values for the Fruit Cross-Sectional Shape than the rest of groups (Table 3). Many significant differences were found for fruit size traits (Table 3).

Table 3 Mean values for each cultivar group for the conventional descriptors for which significant ($P<0.05$) differences were found among cultivar group mean

Trait	Borseta ^a	Cherry	Cor	Penjar	Plana	Pruna	Redona	Valenciana	Prob. F
N	5	2	7	11	7	5	19	13	
Primary Leaf Length (cm)	4.27 a	2.41 b	3.54 ab	3.62 ab	3.32 ab	3.30 ab	3.56 ab	3.92 a	0.049
Plant Growth Type	3.90 a	4.00 a	3.39 a	3.82 a	3.73 a	2.73 b	3.79 a	3.66 a	<0.001
Vine Length (cm)	167 a	193 a	152 a	193 a	154 a	107 b	152 a	157 a	<0.001
Inflorescence Type	1.64 b	1.00 b	1.76 b	1.40 b	2.63 a	1.15 b	1.14 b	2.70 a	<0.001
Flowers per Inflorescence	8.12 b	14.60 a	6.99 b	7.11 b	7.32 b	5.93 b	6.24 b	7.12 b	<0.001
Petal Length (cm)	1.24 b	1.23 b	1.35 ab	1.42 ab	1.26 b	1.46 a	1.47 a	1.32 ab	0.006
Style Position	2.24 a	2.00 ab	1.12 ab	1.61 ab	2.19 a	1.00 b	1.34 ab	1.89 ab	0.002
Style Shape	1.20 b	1.00 b	1.86 a	1.00 b	2.00 a	1.00 b	1.29 b	1.92 a	<0.001
Exterior Colour of Immature Fruit	3.20 ab	5.00 a	4.57 ab	3.82 ab	2.29 b	2.20 b	3.47 ab	4.23 ab	0.009
Presence of Green (Shoulder) Trips on the Fruit	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	0.71 a	0.00 b	0.97 a	1.00 a	<0.001
Intensity of Greenback (Shoulder)	4.00 a	3.50 ab	3.14 ab	3.00 ab	1.71 b	0.00 c	3.11 ab	4.08 a	<0.001
Fruit Size	2.80 ab	1.00 c	3.29 a	2.36 b	3.68 a	2.80 ab	3.34 a	3.38 a	<0.001
Fruit Size Homogeneity	5.20 bcd	9.00 a	4.71 bcd	6.45 bc	3.57 d	6.60 b	5.11 bcd	4.31 cd	<0.001
Fruit Weight (g)	114.5 b	5.2 d	157.5 ab	60.0 c	196.5 a	64.1 c	146.8 ab	213.9 a	<0.001
Fruit Width (cm)	7.55 c	2.41 e	8.50 bc	5.69 d	10.13 a	5.62 d	8.56 bc	9.01 b	<0.001
Exterior Colour of Mature Fruit	5.00 a	5.00 a	5.00 a	4.59 b	4.57 b	5.00 a	5.00 a	5.00 a	<0.001
Intensity of Exterior Colour	5.80 ab	7.00 a	6.29 a	4.82 b	5.86 a	5.80 ab	6.58 a	6.31 a	<0.001
Easiness of Fruit to Detach the Pedicel	5.00 ab	6.00 a	4.00 ab	4.27 ab	3.14 b	5.80 a	4.58 ab	4.23 ab	0.005
Fruit Shoulder Shape	2.00 d	3.00 cd	3.86 bcd	2.73 cd	6.29 a	1.66 d	4.47 abc	5.15 ab	<0.001

Trait	Borseta ^a	Cherry	Cor	Penjar	Plana	Pruna	Redona	Valenciana	Prob. F
Pedicle Length (cm)	3.38 a	2.35 b	3.68 a	3.83 a	4.02 a	3.38 a	3.37 a	3.61 a	0.012
Width of Pedicle Scar (mm)	10.4 b	2.7 c	15.5 a	8.2 b	16.0 a	7.5 b	14.2 a	14.9 a	<0.001
Size of Corky Area Around Pedicle Scar (mm ²)	1.08 bc	0.22 c	4.12 a	1.14 bc	4.68 a	0.86 c	4.76 a	3.14 ab	<0.001
Easiness of Fruit Wall (Skin) to Be Peeled	4.80 a	3.00 b	5.14 a	4.36 a	4.57 a	4.20 a	5.37 a	5.38 a	<0.001
Thickness of Pericarp (mm)	8.09 a	2.39 c	6.03 b	6.91 b	5.47 b	8.30 a	6.52 b	5.71 b	<0.001
Flesh Colour Intensity	5.40 cb	7.00 a	6.14 ab	5.09 c	7.00 a	6.80 a	6.84 a	6.69 a	<0.001
Colour (Intensity) of Core	3.40 b	2.75 b	6.83 a	3.00 b	7.00 a	3.20 b	6.47 a	7.00 a	<0.001
Fruit Cross-Sectional Shape	1.50 b	1.00 b	1.21 b	1.09 b	2.43 a	1.00 b	1.11 b	1.54 b	<0.001
Size of Core (cm)	2.64 b	1.02 c	3.66 a	2.18 b	3.97 a	2.34 b	3.59 a	3.80 a	<0.001
Number of Locules	4.36 c	2.04 d	10.56 ab	2.70 d	14.03 a	2.52 d	7.72 b	10.96 ab	<0.001
Fruit Blossom End Shape	1.70 ab	2.00 ab	1.86 ab	1.82 ab	1.43 b	2.90 a	1.58 b	2.42 ab	0.003
Fruit Firmness (After Storage)	4.20 ab	4.50 ab	4.14 ab	5.64 a	3.71 b	5.60 a	4.58 ab	4.08 ab	<0.001
Radial Cracking	0.88 bc	0.00 c	2.57 abc	0.36 c	3.57 ab	0.00 c	3.21 ab	4.08 a	<0.001
Concentric Cracking	0.60 ab	0.00 b	1.31 ab	0.09 b	2.29 ab	0.00 b	0.86 ab	3.08 a	<0.001
Fruit Fasciation	1.40 bc	0.00 c	3.00 b	0.45 c	5.57 a	0.00 c	2.08 bc	3.00 b	<0.001
Puffiness Appearance	2.48 a	0.00 b	0.00 b	0.72 b	0.71 b	2.13 a	0.11 b	0.00 b	<0.001
Number of Days to Maturity	135 ab	118 b	129 ab	147 a	136 ab	143 a	141 a	138 ab	0.030

^aMeans within rows separated by different letters are significantly different at $P < 0.05$, according to the Student-Newman-Keuls test.

Significant ($P < 0.05$) differences were found among the means of the eight cultivar groups studied for 37 out of the 38 the Tomato Analyzer descriptors evaluated (Table 4). The only descriptor for which no significant differences among group means were found was Proximal Eccentricity. For 33 of the Tomato Analyzer descriptors differences were highly significantly ($P < 0.001$) (Table 4). For the basic descriptors related to fruit size traits, groups with small sized and large sized fruits presented significant differences. For descriptors related to ratios between fruit length and width, the flattened group Plana generally differed from the more elongated groups (Pruna, Borseta, and Valenciana) (Table 4). Heart-shaped Valenciana and Cor also presented higher values for Fruit Shape Triangle than obovoid shaped Borseta, which in turn presented higher values for Obovoid. Groups with pointed fruits, like Pruna and Valenciana, presented lower values of the Distal Angle Micro and Distal Angle Macro than the flattened Plana. The Cherry group had much lower Average L^* (i.e., darker) fruit flesh than the rest of groups, and Penjar and Borseta presented higher values of Average Hue (i.e., more yellow and less red) and lower Average Chroma (i.e., less intense colour) than the rest of groups (Table 4).

Table 4 Mean values for each cultivar group for the Tomato Analyzer descriptors for which significant ($P<0.05$) differences were found among cultivar group means

Trait	Borseta ^a	Cherry	Cor	Penjar	Plana	Pruna	Redona	Valenciana	Prob. F
N	5	2	7	11	7	5	19	13	
Perimeter (mm)	227 bc	77 e	247 ab	181 d	274 a	202 cd	232 abc	254 ab	<0.001
Area (mm ²)	3327 ab	421 d	3760 a	2083 c	4259 a	2604 bc	3440 ab	3873 a	<0.001
Width Mid-Height (mm)	65.1 b	23.0 d	74.0 b	54.3 c	86.9 a	47.0 c	70.9 b	72.1 b	<0.001
Maximum Width (mm)	65.6 b	23.1 d	74.8 b	54.9 c	87.6 a	47.8 c	71.4 b	73.6 b	<0.001
Height Mid-Width (mm)	59.3 ab	20.7 e	56.4 abc	42.3 d	48.2 cd	65.8 a	52.4 bc	60.9 ab	<0.001
Maximum Height (mm)	62.4 a	21.4 c	62.8 a	46.2 b	60.1 a	67.5 a	58.4 a	68.4 a	<0.001
Curved Height (mm)	64.0 a	23.1 c	65.6 a	48.4 b	66.6 a	68.1 a	60.6 a	71.6 a	<0.001
Fruit Shape Index External I	0.96 b	0.92 b	0.85 bc	0.85 bc	0.69 c	1.42 a	0.82 bc	0.95 b	<0.001
Fruit Shape Index External II	0.92 b	0.89 b	0.77 b	0.79 b	0.56 c	1.40 a	0.75 b	0.87 b	<0.001
Curved Fruit Shape Index	0.99 b	1.01 b	0.90 bc	0.90 bc	0.77 c	1.45 a	0.86 bc	1.01 b	<0.001
Proximal Fruit Blockiness	0.70 c	0.74 abc	0.77 ab	0.78 a	0.76 ab	0.71 bc	0.76 ab	0.74 abc	<0.001
Distal Fruit Blockiness	0.70 a	0.65 ab	0.58 b	0.63 ab	0.62 ab	0.63 ab	0.64 ab	0.52 c	<0.001
Fruit Shape Triangle	1.00 c	1.14 bc	1.35 ab	1.25 b	1.24 b	1.14 bc	1.20 bc	1.50 a	<0.001
Ellipsoid	0.03 cd	0.03 d	0.05 b	0.04 bc	0.08 a	0.04 bcd	0.05 b	0.06 b	<0.001
Circular	0.06 bc	0.04 c	0.09 bc	0.07 bc	0.17 a	0.11 b	0.09 bc	0.09 bc	<0.001
Rectangular	0.55 a	0.55 a	0.53 a	0.55 a	0.55 a	0.53 a	0.55 a	0.50 b	<0.001
Shoulder Height	0.03 bc	0.02 c	0.05 abc	0.05 abc	0.07 a	0.02 ca	0.06 ab	0.05 ab	<0.001
Proximal Angle Micro (°)	224 abc	199 c	236 ab	245 a	241 a	209 bc	235 ab	239 c	0.002
Proximal Angle Macro (°)	187 cd	168 cd	224 b	211 b	249 a	154 d	221 b	219 b	<0.001
Proximal Indentation Area	0.06 bcd	0.03 d	0.10 abcd	0.08 abcd	0.15 a	0.04 cd	0.12 ab	0.12 abc	<0.001

Trait	Borseta ^a	Cherry	Cor	Penjar	Plana	Pruna	Redona	Valenciana	Prob. F
Distal Angle Micro (°)	170 abc	166 abc	168 abc	173 abc	181 a	153 c	176 ab	155 bc	<0.001
Distal Angle Macro (°)	160 a	155 a	150 ab	159 a	171 a	128 c	160 a	135 bc	<0.001
Distal Indentation Area	0.00 b	0.00 b	0.00 b	0.01 b	0.02 a	0.00 b	0.01 b	0.01 a	0.003
Distal End Protrusion	0.01 ab	0.01 ab	0.01 ab	0.01 ab	0.03 ab	0.00 b	0.01 ab	0.04 a	0.014
Obovoid	0.10 a	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.01 c	0.06 b	0.01 c	0.01 c	<0.001
Ovoid	0.03 d	0.14 bc	0.18 ab	0.17 ab	0.15 b	0.10 c	0.14 bc	0.20 a	<0.001
V.Asymmetry	0.11 abc	0.03 d	0.13 ab	0.07 cd	0.20 a	0.08 bc	0.10 bc	0.16 ab	<0.001
H.Asymmetry.Ob	0.07 a	0.00 d	0.01 cd	0.00 cd	0.03 bc	0.06 ab	0.01 cd	0.01 cd	<0.001
H.Asymmetry.Ov	0.04 e	0.04 e	0.26 b	0.16 cd	0.24 bc	0.12 de	0.18 bcd	0.36 a	<0.001
Width Widest Pos	0.52 a	0.47 bc	0.45 c	0.44 c	0.45 c	0.50 ab	0.47 bc	0.43 c	<0.001
Eccentricity	0.77 ab	0.78 a	0.72 c	0.74 bc	0.65 d	0.78 a	0.73 c	0.71 c	<0.001
Distal Eccentricity	0.89 a	0.88 b	0.89 ab	0.89 a	0.89 a	0.89 a	0.89 a	0.88 ab	0.010
Fruit Shape Index Internal	0.93 b	0.90 ab	0.79 ab	0.80 ab	0.57 c	1.40 a	0.76 b	0.88 ab	<0.001
Eccentricity Area Index	0.41 c	0.42 bc	0.44 b	0.44 b	0.49 a	0.40 c	0.45 b	0.44 b	<0.001
Average L*	42.9 a	34.5 d	38.2 c	42.5 ab	40.6 abc	40.5 abc	39.5 bc	39.6 bc	<0.001
Average Hue	53.2 ab	49.8 bc	42.6 d	56.7 a	43.2 d	42.8 d	45.4 cd	42.4 d	<0.001
Average Chroma	26.6 d	28.5 bcd	31.5 ab	27.1 cd	32.3 a	32.0 a	30.0 abc	32.2 a	<0.001

^aMeans within rows separated by different letters are significantly different at $P < 0.05$, according to the Student-Newman-Keul

The number of significant differences between pairs of groups for the 64 conventional descriptors was very variable. These data revealed that some of the groups were clearly differentiated from the rest of groups, like Cherry (between 14 and 22 significant differences) or Pruna (between 8 and 26 differences) (Table 5). Also, considerable differences were found between Plana and Borseta (17), Plana and Penjar (17), Penjar and Valenciana (16), Penjar and Cor (14), or Borseta and Valenciana (13). On the contrary, some of the groups presented very low significant differences for the conventional descriptors (Table 5). For example, the Cor group presented only one significant difference with both Redona (Style shape, with high values in Cor) and Valenciana (Inflorescence type, with higher values in Valenciana) groups, and Redona and Valenciana groups presented only two significant differences (Inflorescence type and Style shape, both of them with higher values in Valenciana). Other pairs of groups with reduced number of differences were Plana and Valenciana (5), Borseta and Penjar (6), or Plana and Cor (6) (Table 5).

When considering the 38 Tomato Analyzer descriptors, all groups, except Cor, Redona and Valenciana were clearly differentiated from the rest of groups. In this respect, the number of significant differences with other groups was between 11 and 24 for Borseta, 14 and 27 for Cherry, 8 and 17 for Penjar, 11 and 25 for Plana, and 16 and 25 for Pruna (Table 5). Groups Cor, Redona and Valenciana presented a reduced number of differences. However, in this case, many more differences were found between Valenciana on one side and Cor (5) and Redona (8) on the other. However, no significant differences were found between Cor and Redona groups for any of the Tomato Analyzer descriptors (Table 5).

Table 5 Number of significant ($P < 0.05$) differences among cultivar group means for 64 conventional descriptors (above the diagonal) and for 38 Tomato Analyzer descriptors (below the diagonal)

	Borseta	Cherry	Cor	Penjar	Plana	Pruna	Redona	Valenciana
Borseta		14	8	6	17	10	9	13
Cherry	14		15	14	22	16	16	20
Cor	13	15		14	6	14	1	1
Penjar	15	15	12		17	8	12	16
Plana	24	27	10	16		26	8	5
Pruna	11	19	16	18	25		14	20
Redona	13	17	0	8	11	16		2
Valenciana	16	23	5	17	20	21	8	

Principal components analysis

The first and second components of the PCA performed with 102 variable descriptors (64 conventional and 38 Tomato Analyzer descriptors) accounted, respectively, for 22.6% and 11.8% of the total variation among accession means. The first component was positively correlated with traits associated to large (e.g., Fruit Weight, Fruit Width, Size of Core, Number of Locules, Perimeter, Area, Width Mid-height, Maximum Width) and flattened (e.g., Fruit Width, Fruit Shoulder Shape, Width of Pedicel Scar, Fruit Fasciation, Ellipsoid, Proximal Angle Macro, V.Asymmetry) fruits, and negatively with Eccentricity (Table 6). The second component was positively correlated with elongated fruit traits (e.g., Fruit Length; Height Mid-Width, Maximum Height, Curved Height, Fruit Shape Index External I, Fruit Shape Index External II, Curved Fruit Shape Index, and Fruit Shape Index Internal), and negatively with blocky fruits (e.g., Distal Fruit Blockiness, Rectangular) with no point (Distal Angle Micro and Distal Angle Macro) (Table 6).

Table 6 Correlation coefficients between conventional and Tomato Analyzer descriptors and the two first principal components. Only those correlations with absolute values above 0.15 have been listed

Descriptor	First principal	Second principal
Fruit Weight (g)	0.163	
Fruit Length (cm)		0.171
Fruit Width (cm)	0.186	
Fruit Shoulder Shape	0.165	
Width of Pedicel Scar (mm)	0.177	
Colour (Intensity) of Core	0.176	
Size of Core (cm)	0.176	
Number of Locules	0.193	
Fruit Fasciation	0.162	
Perimeter	0.175	
Area	0.167	
Width Mid-Height	0.191	
Maximum Width	0.192	
Height Mid-Width		0.246
Maximum Height		0.217
Curved Height		0.201
Fruit Shape Index External I		0.225
Fruit Shape Index External II		0.216
Curved Fruit Shape Index		0.226
Distal Fruit Blockiness		-0.166
Ellipsoid	0.169	
Rectangular		-0.214
Proximal Angle Macro	0.170	
Distal Angle Micro		-0.209
Distal Angle Macro		-0.240
V.Asymmetry	0.157	
Eccentricity	-0.178	
Fruit Shape Index Internal		0.215
Variance explained (%)	22.6	11.8

The projection of the accessions on a two-dimensional PCA plot confirmed that each of the groups was diverse for morphological traits, as accessions of a single group presented a certain degree of dispersion in the PCA plot (Fig. 3). Accessions of the different groups, in general, plotted in different areas of the graph. Accessions of the four groups with smallest fruits (Borseta, Cherry, Penjar, and Pruna) presented negative values for the first component. The Pruna accessions had positive values for the second component, and Cherry and Penjar accessions had negative values for this second component, although the Cherry accessions had lower values than Penjar accessions for the first component (Fig. 3). Borseta accessions had higher values than Penjar either for the first or second components, or for both. Regarding the large fruited accessions (Cor, Plana, Redona, and Valenciana) they had, in general, positive or low negative values for the first component. In general, Plana accessions were characterized by high positive values for the first component and negative ones for the second one. Cor, Redona and Valenciana accessions were basically separated by the second component with larger values for Valenciana, lower for Redona, and intermediate for Cor (Fig. 3). Also, on average Valenciana accessions had higher values for the first component than Redona, with Cor being intermediate again. All accessions but six (8.7%) plotted in the PCA graph in areas corresponding to their cultivar groups (Fig. 3). Accessions that plotted with other groups corresponded to one Cor and one Plana clustering with Redona, one Redona clustering with Borseta, and three Valenciana clustering with each of the Cor, Redona, and Plana groups.

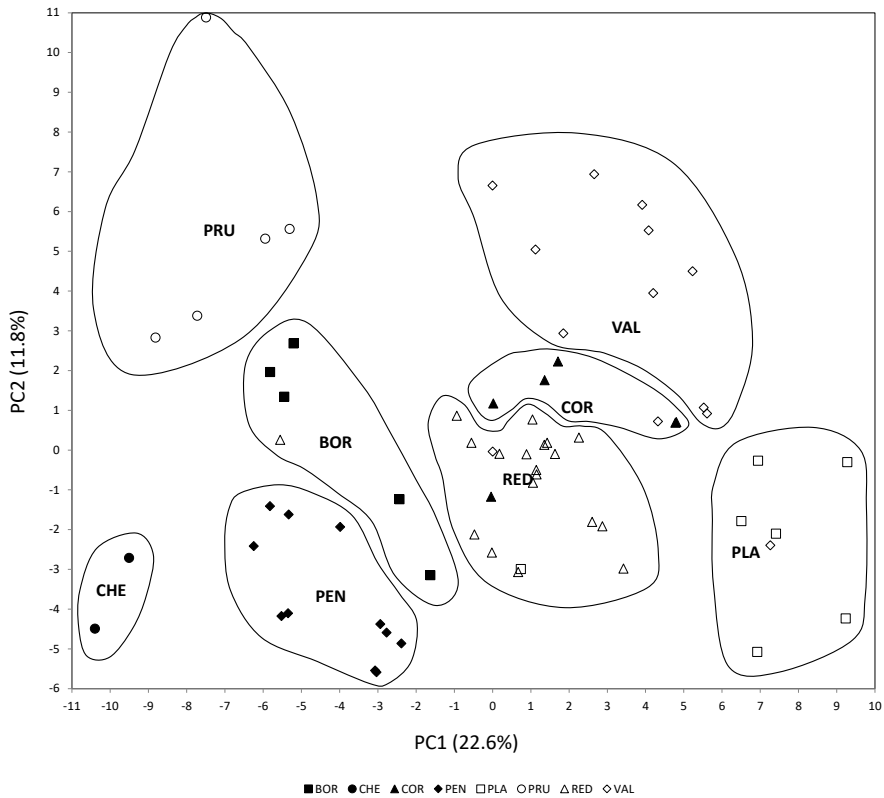


Fig. 3 Similarities based on 64 conventional and 38 Tomato Analyzer descriptors among 69 tomato accessions from the region of València (Spain) represented on the two first principal components of PCA (accounting for 22.6% and 11.8% of the total variation, respectively). The different cultivar groups are represented by different symbols: Borseta (BOR; filled square), Cherry (CHE; filled circle), Cor (COR; filled triangle), Penjar (PEN; filled rhombus), Plana (PLA; open square), Pruna (PRU; open circle), Redona (RED; open triangle), and Valenciana (VAL; open rhombus). First and second component centroids for each of the cultivar groups are indicated using the group code

Discussion

The collection studied was very variable for both conventional and tomato Analyzer descriptors, confirming that the Mediterranean region is a secondary center of diversity for tomato (Mazzucato et al. 2008, Terzopoulos and Bebeli 2010, Blanca et al. 2012, García-Martínez et al. 2013). The only descriptors which were monomorphic in the collection corresponded to conventional descriptors that usually distinguish between wild and cultivated materials (e.g., the Corolla Colour of corolla, Corolla Blossom Type, and Dehiscence), or that correspond to introgressions from wild relatives in modern cultivars (e.g., Presence of Jointless Pedicel) (Díez and Nuez 2008).

Conventional descriptors allowed detecting large differences among accessions for vegetative and agronomic traits of interest for tomato production. The large differences found for Plant Size, Number of Days to Flowering, Number of Days to Maturity, and Yield per Plant in the collection indicates that selection of the accessions having a better combination of productive traits can be of advantage for enhancing the local production. Several studies (Gómez et al. 2001, Bletsos et al. 2002, Casals et al. 2011) showed that selection among tomato local varieties within a cultivar group can result in an improvement of yield, quality, or both. As occurred in other crops, participatory selection programmes would likely improve the efficiency of selection for productive traits (Lammerts van Bueren et al. 2011).

While many differences were found in the collection for conventional descriptors, these were quite limited to differentiate subtle characteristics of tomato fruit morphology important for classification in

closely related cultivar groups (Rao et al. 2006, Mazzucato et al. 2010, Cebolla-Cornejo et al. 2013). The phenomics study performed with the high-throughput Tomato Analyzer software tool allowed the automatic acquisition of data for many fruit morphology traits not dealt with by the conventional descriptors (Brewer et al. 2006, Gonzalo and van der Knaap 2008, Rodríguez et al. 2010a, 2010b, Strecker et al. 2010). This made possible the precise description of fruit morphology and detecting many differences for fruit morphology among accessions.

The conventional and Tomato Analyzer characterization performed detected many differences between cultivar groups for many traits. However, most of the differences among cultivar groups were for fruit traits. This was expected as cultivar groups in tomato are established according to the fruit morphology (Díez and Nuez 2008). Some of the cultivar groups were clearly distinguished on the basis of conventional and Tomato Analyzer descriptors, as they had clearly defined morphological differences in fruit traits. This was the case of the Borseta (pear-shaped), Cherry (very small size), Penjar (small size, flattened, *alc* mutation), Plana (large size flattened), and Pruna (cylindrical) accessions. However, for the Cor, Redona, and Valenciana the situation was different. These three groups included accessions which presented a continuous range of variation, from completely round accessions (Redona) to heart-shaped (Cor) to prominently pointed heart-shaped (Valenciana), and adscription to one or other group may be ambiguous, as the limits between these groups are diffuse. For these three groups only one or two significant differences were found among them for conventional descriptors and none of them was for fruit traits. When considering Tomato Analyzer traits, we found that the Valenciana group was significantly different from the Cor

and Redona groups by five and eight descriptors, respectively. This shows that Tomato Analyzer is able to distinguish among cultivar groups which can not be clearly differentiated by morphological traits (Mazzucato et al. 2010, Panthee et al. 2013). However, no significant differences were observed between the Cor and Redona cultivar groups means for any of the Tomato Analyzer traits, indicating that both cultivar groups are very similar in morphology and very likely overlapping. This situation has also been reported in local cultivar groups of tomato, like the ‘San Marzano’ (Rao et al. 2006) and ‘A pera Abruzzese’ (Mazzucato et al. 2010).

The multivariate principal component analysis using combined conventional and Tomato Analyzer descriptors data allowed a fairly good separation of the eight cultivar groups. This is in contrast with other studies made with collections of local tomato varieties performed using only conventional markers (Cebolla-Cornejo et al. 2013) in which the different cultivar groups are intermingled in the morphological PCA graph. In our case, despite the high similitude between Cor and Redona groups, most accessions of these groups were found to plot in different areas of the graph, so that Cor was situated in the intermediate area between Redona and Valenciana. This shows that PCA of morphological data is a powerful tool for classification and grouping of local tomato accessions (Mohammadi and Prasanna 2003). The PCA analysis also revealed that a few accessions of the groups with largest sized fruits, like Cor, Plana, Redona, and Valenciana plotted in the PCA with other cultivar groups. This may indicate that these accessions, which were originally ascribed to one of the groups are intermediate and that ascription to a specific group may on occasion be ambiguous, as has been found in other crops, like melon (Pitrat et al. 2000) or brassicas (Izzah et al. 2013).

The collection included very different fruit sizes, from the small Cherry group to the large sized Plana and Valenciana groups. This range of variation for fruit size is common in collections of local varieties (Rodríguez-Burruezo et al. 2005, Panthee et al. 2013). Some of the varieties we evaluated had very large fruit sizes, with average fruit weight above 500 g. These large sized fruits are in increasing demand in the local markets, as they are associated to traditional local tomato varieties and therefore may have an interest for local producers. On the other side, although local varieties of Cherry tomatoes are not very frequent in the region of València, they are highly appreciated in some regions of Italy and Greece (Andreakis et al. 2004, Terzopoulos and Bebeli 2010). The increased demand of this type of small sized tasty tomatoes also represents an opportunity for the enhancement in Spain of these specialty local varieties (Causse et al. 2010). Also, as already found in other collections of local tomato varieties (Rodríguez-Burruezo et al. 2005, Mazzucato et al. 2008, Terzopoulos and Bebeli 2010, Cebolla-Cornejo et al. 2013, Panthee et al. 2013), large differences have been found in the collection for fruit morphology. However, despite the large variation, for some traits the variation has been limited. For example, although yellow and orange-coloured accessions are present in collections of local tomato varieties (Rodríguez-Burruezo et al. 2005), all accessions evaluated here have been red or pink. This was probably caused by local preferences for red-coloured fruits.

The results we obtained show that the combined utilization of conventional and Tomato Analyzer descriptors are a powerful tool for studying the relationships and distinctive characteristics of cultivar groups of local varieties of tomato. Even when some of the cultivar groups are

very similar in gross morphology (e.g., Cor, Redona, and Valenciana) it has been possible to separate them in a PCA multivariate analysis. The detailed characterization of fruit shape provided by the phenomics tool Tomato Analyzer may be of great relevance for the morphology-based delimitation of closely related tomato cultivar groups. Given that DUS tests are based only on morphological characterization (UPOV 2002), this information is useful for the typification, classification, protection, registration, and enhancement of local varieties of tomato.

Acknowledgements

Authors are grateful to Mrs. Carmen Moreno Piquer for providing the experimental field and cultivation expenses and to Mr. José Soler Sanz for knowledge on diversity and advice on the cultivation of local tomato varieties.

References

- Andreakis, N., Giordano, I., Pentangelo, A., Fogliano, V., Graziani, G., Monti, L.M., Rao, R. (2004). DNA fingerprinting and quality traits of Corbarino cherry-like tomato landraces. *J Agric Food Chem* 52:3366-3371.
- Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Díez, M.J., Nuez, F. (2012) Variation revealed by SNP genotyping and morphology provides insight into the origin of tomato. *PLOS ONE* 7:e48198.
- Bletsos, F.A., Goulas, C. (2002). Fresh consumption tomato performance of a local landraces and derived lines. *Acta Hort* 579:95-100.

- Brewer, M.T., Lang, L., Fujimura, K., Dujmovic, N., Gray, S., van der Knaap, E. (2006), Development of a controlled vocabulary and software application to analyse fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiol* 141:15-25
- Brewer, M.T., Moyseenko, J.B., Monforte, A.J., van der Knaap, E. (2007). Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *J Exp Bot* 58:1339-1349
- Brugarolas, M., Martínez-Carrasco, L., Martínez-Poveda, A., Ruiz, J.J, (2009). A competitive strategy for vegetable products: traditional varieties of tomato in the local market. *Spanish J Agric Res* 7:294-304
- Casals, J., Bosch, L., Casañas, F., Cebolla, J., Nuez, F. (2011). Montgrí, a cultivar within the Montserrat type. *HortScience* 45:1885-1886
- Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., Nuez, F. (2012). Genetic basis of long shelf life and variability in Penjar tomato. *Genet Resour Crop Evol* 59:219-229
- Causse, M., Friguet, C., Coiret, C., Lépicie, 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. *J Food Sci* 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. *Intl J Plant Prod* 1:113-127
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Sci Hort* 162:150-164

- Darrigues, A., Hall, J., van der Knaap, E., Francis, D.M., Dujmovic, N., Gray, S. (2008). Tomato Analyzer-color test: A new tool for efficient digital phenotyping. *J Amer Soc Hort Sci* 133:579-586
- Díez, M.J., Nuez, F. (2008) Tomato. In: Prohens J, Nuez F. (eds), *Handbook of plant breeding: Vegetables II*, Springer, New York, NY, USA, pp. 249-323
- FAO (2010) .The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 370 p.
- García-Martínez, S., Corrado, G., Ruiz, J.J., Rao, R. (2013). Diversity and structure of a sample of traditional Italian and Spanish tomato accessions. *Genet Res Crop Evol* 60:789-798
- Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M., Pardo, J.E. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *J Sci Food Agric* 81:1101-1105
- Gonzalo, M.J., van der Knaap, E. (2008). A comparative analysis into the genetic bases of morphology in tomato varieties exhibiting elongated fruit shape. *Theor Appl Genet* 116:647-656
- Gonzalo, M.J., Brewer, M.T., Anderson, C., Sullivan, D., Gray, S., van der Knaap, E. (2009). Tomato fruit shape analysis using morphometric and morphology attributes implemented in Tomato Analyzer software program. *J Amer Soc Hort Sci* 134:77-87
- Hammer, K. (2003). Resolving the challenge posed by agrobiodiversity and plant genetic resources – an attempt. *J. Agric. Rural Dev. Tropics Subtropics* 76:1-184
- Hammer, K., Knüpfper, H., Laghetti, G., Perrino, P. (1999). *Seeds from the past: A catalogue of crop germplasm in north-central Italy*. Germplasm Institute of C.N.R., Bari, Italy, 253 p.

- Hammer, K., Arrowsmith, N., Gladis, T. (2003). Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. *Naturwissenschaften* 90:241-250
- Hammer, K., Diederichsen, A. (2009). Evolution, status and perspectives for landraces in Europe. In: Vetelainen M, Negri V, Maxted N (eds) *European landraces: on-farm conservation, management and use*, Bioversity International, Rome, Italy, pp. 23-43
- Hurtado, M., Vilanova, S., Plazas, M., Gramazio, P., Andújar, I., Herraiz, F.J., Castro, A., Prohens, J. (2014). Enhancing conservation and use of local vegetable landraces: the Almagro eggplant (*Solanum melongena* L.) case study. *Genet Resour Crop Evol* (in press)
- IPGRI (1996). Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 47 p.
- Izzah, N.K., Lee, J., Perumal, S., Park, J.Y., Ahn, K., Fu, D., Kim, G.B., Nam, Y.W., Yang, T.J. (2013). Microsatellite-based analysis of genetic diversity in 91 commercial *Brassica oleracea* L. cultivars belonging to six varietal groups. *Genet Resour Crop Evol* 60:1967-1986
- Lammerts van Bueren, E.T., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.M., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS Wageningen J Life Sci* 58:193-205
- Little, T., Hills, J. (1978). *Agricultural experimentation: Design and analysis*. Wiley, New York, NY, USA, 368 p.
- Mazzucato, A., Papa, R., Bitocchi, E., Mosconi, P., Nanni, L., Negri, V., Picarella, M.E., Siligato, F., Soressi, G.P., Tiranti, B., Veronesi, F. (2008). Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theor Appl Genet* 116:657-669

- Mazzucato, A., Ficcadenti, N., Caioni, M., Mosconi, P., Piccinini, E., Sanampudi, V.R.R., Sestili, S., Ferrari, V. (2010). Genetic diversity and distinctiveness in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces: The Italian case study of 'A pera Abruzzese'. *Sci Hort* 125:55-62
- Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants – salient statistical tools and considerations. *Crop Sci* 43:1235-1248
- Panthee, D.P., Labate, J.A., McGrath, M.T., Breksa III, A.P., Robertson, L.D. (2013). Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica* 193:169-182
- Pitrat, M., Hanelt, P., Hammer, K. (2000). Some comments on infraspecific classification of cultivars of melon. *Acta Hort* 510:29-36
- Rao, R., Corrado, G., Bianchi, M., Di Mauro, A. (2006). (GATA)₄ DNA fingerprinting identifies morphologically characterized 'San Marzano' tomato plants. *Plant Breed* 125:173-176
- Rodríguez, G., Strecker, J., Brewer, M., Gonzalo, M.J., Anderson, C., Lang, L., Sullivan, D., Wagner, E., Strecker, B., Drushal, R., Dujmovic, N., Fujimuro, K., Jack, A., Njanji, I., Thomas, J., Gray, S., van der Knaap, E. (2010a). Tomato Analyzer version 3 user manual.
http://www.oardc.osu.edu/vanderknaap/files/Tomato_Analyzer_3.0_Manual.pdf
- Rodríguez, G.R., Moyseenko, J.B., Robbins, M.D., Morejón, N.H., Francis, D.M., van der Knaap, E. (2010b). Tomato Analyzer: a useful software application to collect accurate and detailed morphological and colorimetric data from two-dimensional objects. *J Visualized Exp* 37:1856
- Rodríguez, G.R., Muñoz, S., Anderson, C., Sim, S.C., Michel, A., Causse, M., Mc Spadden Gardener, B.B., 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 Physiol* 156:275-285
- Rodríguez, G.R., Kim, H.J., van der Knaap, E. (2013). Mapping of two suppressors of *OVATE* (*sov*) loci in tomato. *Heredity* 111:256-264
- Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Roselló, S., Nuez, F. (2005) “Heirloom” varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *J Hort Sci Biotech* 80:453-460
- Ruiz, J.J., García-Martínez, S., Picó, B., Gao, M., Quiros, C.F. (2005). Genetic variability and relationship of closely related Spanish traditional cultivars of tomato as detected by SRAP and SSR markers. *J Amer Soc Hort Sci* 130:88-94
- Scott, J.W. (2010). Phenotyping of tomato for SolCAP and onward into the void. *HortScience* 45:1314-1316
- Spataro, G., Negri, V. (2013). The European seed legislation on conservation varieties: focus, implementation, present and future impact on landrace on farm conservation. *Genet Resour Crop Evol* 60:2421-2430
- Spooner, D.M., Hetterscheid, W.L.A., van den Berg, R.G., Brandenburg, W.A. (2003). Plant nomenclature and taxonomy: An horticultural and agronomic perspective. *Hort Rev* 28:1-60
- Strecker, J., Rodríguez, G., Njanji, I., Thomas, J., Jack, A., Darrigues, A., Hall, J., Dujmovic, N., Gray, S., van der Knaap, E., Francis, D. (2010). Tomato Analyzer color test manual version 3. http://oardc.osu.edu/vanderknaap/files/Color_Test_3.0_Manual.pdf
- Terzopoulos, P.J., Bebeli, P.J. (2008). DNA and morphological diversity of selected Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci Hort* 116:354-361

- Terzopoulos, P.J., Bebeli, P.J. (2010). Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci Hort* 126:138-144
- Trichopoulou, A., Soukara, S., Vasilopoulou, E. (2007). Traditional foods: a science and society perspective. *Trends Food Sci Technol* 18:420-427
- UPOV. (2002). General introduction to the examination of distinctness, uniformity and stability and the development of harmonized descriptors of new varieties of plants (TG/1/3). International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Switzerland, 26 p.
- UPOV. (2013). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: Tomato (TG/44/11 Rev.). International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Switzerland, 72 p.

Capítulo 2. Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups

Maria R. Figàs ^a, Jaime Prohens ^{a,*}, María D. Raigón ^b, Ana Fita ^a, María D. García-Martínez ^b, Cristina Casanova ^a, Dionís Borràs ^a, Mariola Plazas ^a, Isabel Andújar ^a, Salvador Soler ^a

^a Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera 14, 46022 València, Spain

^b Departament de Química, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera 14, 46022 València, Spain

CIta: Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fita, A., García-Martínez, M.D., Casanova, C., Borràs, D., Plazas, M., Andújar, I., Soler, S. (2015). Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry*. 187, 517-524.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.083>

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum*) local varieties are having an increasing demand. We characterized 69 local tomato accessions from eight cultivar groups for proximate composition traits, major sugars, acids and antioxidants. A large diversity was found, with differences among accessions of almost ten-fold for lycopene. Significant differences were found among cultivar group means for most traits. The Cherry and Penjar groups generally presented higher dry matter, soluble solids content, titratable acidity, taste index, β -carotene, ascorbic acid, total phenolics, and antioxidant activity than the other groups. Wide ranges of variation were found within each cultivar group. Positive correlations were found between proximate traits related to taste and antioxidants. The multivariate principal components analysis confirms the distinct profile of the Cherry and Penjar groups and the large variation within groups. The results will be useful for the differentiation, enhancement and selection of local tomato varieties with improved organoleptic properties and functional quality.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, chemical composition, local varieties, organoleptic quality, functional quality, cultivar groups, selection

1. Introduction

Commercial production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in developed regions of the world is mostly based on modern varieties, frequently genetically uniform F1 hybrids, which have a high yield,

multiple resistance to diseases, and long shelf life (Díez and Nuez, 2008).

Despite the clear productive advantages of modern tomato varieties, consumers often complain of their reduced organoleptic quality (Causse et al., 2010). Low quality of many modern tomato varieties has been attributed to a tradeoff between yield and concentration of compounds involved in taste, in particular when cultivated under suboptimal conditions of temperature and illumination, as well as to the pleiotropic effect on organoleptic quality of long-shelf life mutations, like *rin*, present in many commercial hybrids of tomato (Díez and Nuez, 2008). This has increased the demand for local and “heirloom” varieties of tomato, which are associated to a better flavour (“flavour of the past”), to local production (Brugarolas et al., 2009), and in some cases, to an increased content in bioactive compounds compared to standard long shelf life varieties (Vrebalov et al., 2002). In consequence, local tomato varieties often reach market prices much higher than those of standard modern varieties (Cebolla-Cornejo et al., 2007; Brugarolas et al., 2009). This increased demand opens the opportunity for the recovery of local tomato varieties for an expanding market.

Tomato is grown in all tropical, subtropical and temperate regions of the world, and differences in local preferences and agroclimatic conditions, in conjunction with microevolutionary forces have resulted in the accumulation of a large phenotypic diversity in local varieties of tomato, with a wide diversity and array of combinations for fruit size, shape, and colour (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Díez and Nuez, 2008). One of the regions with a greatest diversity in local varieties of tomato is the Mediterranean region, which is considered a secondary center of diversity for this crop (Terzopoulos and Bebeli, 2008; Mazzucato et al.,

2008; García-Martínez et al., 2013; Figàs et al., 2015), with many local tomato varieties being locally appreciated. In Europe, some of these traditional varieties, like Marmande, Oxheart or San Marzano among others, have also obtained widespread recognition as high quality varieties and are found in markets throughout the continent (Di Gioia et al., 2010; Casals et al., 2011; Ercolano et al., 2014).

Enhancement of local varieties of vegetables for a more economically productive horticulture can be achieved using characterization, selection and breeding approaches (Hurtado et al., 2014). In this respect, the characterization of composition traits relevant for organoleptic and bioactive properties is of interest, as it is increasingly valued by consumers. This information may allow determining composition characteristics distinctive of specific local cultivar groups, the diversity for the chemical composition within each group, as well as to identify accessions within each cultivar group with enhanced values for the target composition traits.

In tomato, taste is mostly related to the content in sugars, acids and their ratio (Navez et al., 1999; Causse et al., 2010; Siddiqui et al., 2015). The main sugars in tomato are the monosaccharides glucose and fructose, which are usually present at equimolar ratios (Beckles, 2012). Due to high activity of acid invertase, the disaccharide sucrose is not detectable or present at low levels in the cultivated tomato fruit (Beauvoit et al., 2014). Regarding acids, citric acid is the main organic acid of the tomato fruit (Fernández-Ruiz et al., 2004; Siddiqui et al., 2015). Malic acid and oxalic acid, which usually rank as the second and third most abundant organic acids of tomato, are present at much lower levels than citric acid (Fernández-Ruiz et al., 2004).

The carotenoid lycopene is the most characteristic antioxidant compound of tomato and is responsible of the red color of the ripe fruit (Siddiqui et al., 2015). Another carotenoid of bioactive relevance present in the tomato fruit is β -carotene, although its levels are normally much lower than those of lycopene (Cortés-Olmos et al., 2014). Lycopene and β -carotene intake has been correlated to a reduced risk of certain types of cancer and cardiovascular diseases (Riccioni, 2009; Keikel et al., 2011). Ascorbic acid, which has antioxidant as well multiple biological effects beneficial for human health, like antiscorbutic and anticarcinogen properties (Du et al., 2012), is also present at significant levels in the tomato fruit (Cortés-Olmos et al., 2014). Phenolics, in particular chlorogenic acid and quercetin, are also present in the tomato fruit in significant concentrations (Siddiqui et al., 2015). Apart from the antioxidant activity displayed by tomato phenolics, they are increasingly recognized as having important biological properties, including anti-inflammatory, anti-microbial, neuroprotective and cardioprotective effects (Del Río et al., 2013).

We have characterized a collection of local varieties of tomato from the Mediterranean region of València (Spain) for chemical composition traits involved in taste and functional quality. The collection contains accessions from different locally recognized cultivar groups (Figàs et al., 2015). Chemical characterization data will provide relevant information on the diversity for these traits among local tomato varieties, as well as on differences among and within cultivar groups. This information will be of interest for the enhancement and selection of local varieties of tomato.

2. Material and Methods

2.1. Plant material

A total of 69 accessions of local varieties of tomato from the region of València, situated in the Mediterranean coast of Spain, were used for the analyses of composition. The local varieties used correspond to eight cultivar groups commonly recognized in the region and present different fruit characteristics (Table 1). These accessions have been previously morphologically characterized using conventional descriptors and the phenomics tool Tomato Analyzer (Figàs et al., 2015).

Table 1. Cultivar groups, number of accessions and fruit characteristics for the accessions for which composition traits have been studied.

Cultivar group	n	Fruit weight ^a	Fruit shape	Number of locules ^a	Fruit size homogeneity ^b
Borseta	5	71-161	Obovoid	2.9-7.0	Intermediate
Cherry	2	3-8	Round	2.0-2.1	Very high
Cor	7	125-191	Heart	8.3-15.2	Intermediate
Penjar	12	36-86	Variable	2.0-3.3	High
Plana	7	143-251	Flat	6.9-18.3	Low
Pruna	5	45-97	Ellipsoid	2.1-2.9	High
Redona	19	78-197	Round	4.9-10.4	Intermediate
Valenciana	12	101-512	Oxheart	2.8-14.5	Intermediate

^aRange of variation for the mean values of the accessions studied.

^bIntra-accession homogeneity.

Five plants per accession were grown during the spring-summer season of 2013 in an open field plot in Vila-Real (Region of València, Spain) following the standard horticultural practices used in the area for local varieties of tomato. Plants were distributed following a completely randomized design. Further details of plant cultivation conditions can be consulted elsewhere (Figàs et al., 2015).

2.2. Preparation of samples

Five samples of healthy vine-ripened mature red-ripe stage fruit were used for each accession. Fruits were harvested between June 17 and August 16. Each sample consisted of at least three tomatoes from the second to fourth trusses, with a minimum total weight for sample of 250 g. Fruits were brought to the laboratory and were washed and squeezed using a domestic juice extractor. Two aliquots were obtained; one was used for the immediate determination of ascorbic acid and for proximate traits measurement (dry matter, soluble solids, pH, and titratable acidity), and the other was frozen in liquid N₂ and stored at -80°C until analyzed for the rest of traits.

2.3. Analytical methods

Dry matter was calculated from a 10 ml juice sample as $100 \times dw/fw$, where fw and dw are, respectively, fresh weight and dry weight after drying at 105°C to constant weight. Soluble solids (SS) were measured refractometrically using a drop of juice using a hand-held refractometer. pH was determined in juice using an automatic pHmeter.

Titratable acidity (TA) was determined potentiometrically by

titrating a 100 ml diluted (1:5) sample of juice with 0.5 N NaOH to pH 8.1, and expressed as percentage of citric acid. Taste index (TI) was determined according to Navez et al. (1999) from the SS and TA values using the formula $TI=TA+(SS/(20\times TA))$. Glucose and fructose were determined using the D-Fructose/D-Glucose Assay Kit (Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland) according to the manufacturer instructions (Megazyme, 2013). In order to calculate concentrations of glucose and fructose, absorbances were measured at 340 nm (Megazyme, 2013) in a Jenway 6305 (Jenway, Essex, UK) spectrophotometer (Megazyme, 2013). Citric acid was determined using the CI9920 enzymatic kit (BEN S.r.l., Milano, Italy) according to the manufacturer instructions. For lycopene and β -carotene determinations, frozen homogenate was extracted overnight with ethanol:hexane (4:3 v/v) in darkness. Subsequently, the hexane phase was separated and lycopene and β -carotene concentrations were determined from UV/V spectrophotometry absorbance values at 503 nm (lycopene) and 450 nm (β -carotene). Ascorbic acid was determined by potentiometric titration with a Titrino 702 (Metrohm, Herisau, Switzerland) using a Metrohm 6.0420.100 combined Pt selective electrode and a 0.005 M chloramine T as standard. Total phenolics were determined according to the Folin-Ciocalteu method using chlorogenic acid as standard, as indicated in Raigón et al. (2008). Antioxidant activity was estimated using the colourimetric DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) assay as described by Sánchez-Moreno et al. (1998) and expressed as Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) equivalents (TE).

2.4. Data analysis

Data were subjected to analyses of variance (ANOVA) using a fixed-effects model for variety. The total sums of squares for each trait was partitioned into the sums of squares for accession and residual effects. The average (pooled) standard error (SE) was obtained for each trait from the corresponding ANOVA. The coefficients of phenotypic variation (CV_P) and genotypic variation (CV_G) for each trait were estimated from the mean value and the estimates for the phenotypic variance and genotypic variance obtained from the sums of squares of the ANOVA analyses (Wricke and Weber, 1986). Mean values for each accession were used to perform additional ANOVA analyses to detect differences among cultivar group means. In this case, the total sums of squares for each trait was partitioned into the sums of squares between and within groups. Significant differences among cultivar group means were estimated using the Duncan multiple range test. Pearson linear coefficients of correlation (r) were calculated between pairs of traits and significance ($P < 0.05$) of correlations was evaluated with the Bonferroni test (Hochberg, 1988). Principal components analysis (PCA) was performed for standardized composition data using pairwise Euclidean distances among accessions means. Eigenvalues and percent of variance accounted for each principal component as well as correlation coefficients between composition traits and principal components were calculated. Statistical and PCA analyses were performed with the Statgraphics Centurion XVI version 16.2.04 (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, VA, USA) software package.

3. Results

3.1. Variation parameters

The accession effect was highly significant ($P < 0.001$) for all composition traits studied and represented between 37.31% (for citric acid) and 76.21% (for total phenolics) of the total variance (Table 2). For all traits, except pH, fructose, and citric acid, the accession effect accounted for more than 50% of the total sums of squares. The average dry matter content of the collection was of 6.49%, while for soluble solids content it was of 5.70%. The pH had an average value of 4.24 and titratable acidity of 0.46%. As a result of the soluble solids content and titratable acidity values the taste index had an average value of 1.1. Fructose presented slightly higher concentration values than glucose (Table 2). Citric acid concentration values were considerably lower than those of sugars. Regarding antioxidants, the highest average concentration values were obtained for total phenolics ($601.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), followed by ascorbic acid ($197.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), lycopene ($36.62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), and finally by β -carotene ($9.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). The average antioxidant activity was of $2.27 \text{ mmol TE}\cdot\text{kg}^{-1}$. A wide range of variation was found among accession means for composition traits. In this respect, for most traits severalfold differences were observed between the minimum and maximum values (Table 2). The traits with a larger value for the relative range (i.e., maximum/minimum values) were lycopene (9.39-fold) and citric acid (6.27-fold), while those with the lowest relative range were pH (1.14-fold) and taste index (1.51-fold). The lowest values for the coefficients of phenotypic (CV_P) and

genotypic (CV_G) variation were obtained for pH, while the highest values for CV_P and CV_G were those of lycopene (Table 2).

Table 2. Percentage of the total sum of squares for the effects of accession and residual, and global mean, maximum and minimum values, coefficient of phenotypic variation (CV_P), coefficient of genotypic variation (CV_G), for the fruit traits evaluated (expressed on a fresh weight basis) in a collection of 69 accessions of local varieties of tomato.

Trait	Sum of squares (%)		Mean	Minimum	Maximum	CV_P (%)	CV_G (%)
	Accession ^a	Residual					
Proximate traits							
Dry matter (%)	58.48***	41.52	6.49	4.08	10.52	20.99	9.17
Soluble solids (%)	66.08***	33.92	5.70	3.58	8.68	17.75	8.99
pH	41.56***	58.44	4.24	3.97	4.53	3.86	1.13
Titratable acidity (%)	61.37***	38.63	0.46	0.29	0.84	23.13	10.70
Taste index	63.12***	36.88	1.11	0.90	1.36	9.69	4.64
Sugars and acids							
Glucose (g·kg ⁻¹)	47.34***	52.66	9.08	4.13	16.61	34.65	11.85
Fructose (g·kg ⁻¹)	38.01***	61.99	11.08	4.65	19.93	42.38	11.15
Citric acid (g·kg ⁻¹)	37.31***	62.69	3.36	1.00	6.27	53.13	13.66
Antioxidants							
Lycopene (mg·kg ⁻¹)	51.83***	48.17	36.62	10.46	98.27	64.58	24.51
β-carotene (mg·kg ⁻¹)	54.36***	45.54	9.11	4.02	21.98	43.63	17.50
Ascorbic acid (mg·kg ⁻¹)	73.46***	26.54	197.3	127.9	373.4	19.17	11.15
Total phenolics (mg·kg ⁻¹)	76.21***	23.79	601.5	346.2	1374.6	24.01	14.70
Antioxidant activity (mmol TE·kg ⁻¹)	59.02***	40.98	2.27	0.98	5.27	38.39	16.95

^a *** indicates significant at $P < 0.001$.

3.2. Differences among cultivar groups

When considering the proximate traits, significant differences ($P < 0.05$) were found among cultivar group means, except for pH (Table 3). For all traits, the within groups sums of squares accounted for more than 50% of the variance. The highest average dry matter contents were found for the Cherry group, followed by the Penjar group; both groups

presented a significantly higher dry matter than the rest of groups (Table 3). For soluble solids content, the Cherry group was significantly higher than the rest of groups, except Penjar; the latter in turn was significantly higher than Borseta and Pruna. For titratable acidity, Cherry also presented values significantly higher than the rest of varieties; and, Penjar ranked second, with values significantly higher than those of Borseta and Cor. For the taste index, again the highest values were those of the Cherry group, with average values significantly higher than the rest of accessions, except Penjar, which had significantly higher values than Pruna (Table 3). Despite the existence of significant differences among group means for four of the proximate composition traits, considerable variation was found for accession means within each of the groups (Table 3). In this respect, in most cases the ranges of variation for each of the cultivar groups overlap with the other groups for all traits, the exception being the Cherry group which does not overlap with several other groups for dry matter, soluble solids, titratable acidity, and taste index (Table 3).

For the sugars (glucose and fructose) and acid (citric acid) measured, significant differences among cultivar group means were found only for fructose (Table 3). As occurred for proximate traits the within groups sums of squares accounted for more than 50% of the variance in all cases. For fructose, the highest values were found for the Cor and Borseta, which were significantly higher than those of Cherry, Pruna, and Penjar. Also, Redona presented values significantly higher than those of Cherry (Table 3). As occurred for proximate traits, considerable variation was found within each of the groups (Table 3). The ranges of variation for each of the cultivar groups overlap with the other groups for all traits, with the

exception of the Cherry group, for fructose, does not overlap with the range of variation of Borseta and Cor groups (Table 3).

All antioxidants, as well as the antioxidant activity, displayed significant differences among cultivar group means (Table 3). For β -carotene, ascorbic acid and total phenolics the between groups sums of squares accounted for more than 50% of the variance. The Cherry group presented the highest average values for all antioxidant compounds, (Table 3). The group Penjar ranked second for β -carotene, ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activity; however it was the cultivar group with lowest content in lycopene (Table 3). For the rest of groups, few significant differences were found among groups. As for the proximate composition traits, sugars and citric acid, large ranges of variation were found within the cultivar groups, and all the groups overlapped in the range of variation, with the exception of the Cherry group, which only overlapped in the range of variation with the Penjar group for all traits but lycopene (Table 3).

Table 3. Means and range (within brackets) for the chemical composition traits (expressed on a fresh weight basis) measured in the eight varietal groups of tomato accessions studied, F-ratio for significances of differences among groups and percentage of the total sum of squares between and within groups.

Traits	Varietal groups								F-ratio ^b	Sums of squares (%)	
	Borseta (n=5)	Cherry (n=2)	Cor (n=7)	Penjar (n=12)	Plana (n=7)	Pruna (n=5)	Redona (n=19)	Valenciana (n=12)		Between groups	Within groups
Dry matter (%) ^a	5.81 c (5.18-6.93)	10.11 a (9.71-10.52)	6.22 c (4.86-8.64)	7.66 b (5.33-9.73)	6.35 c (4.14-7.78)	5.83 c (5.26-6.85)	6.06 c (4.08-7.42)	6.21 c (4.64-7.42)	7.04***	44.69	55.31
Soluble solids (%)	4.98 c (4.46-5.76)	7.68 a (7.60-7.76)	5.73 bc (5.06-7.40)	6.57 ab (4.06-8.68)	5.96 bc (3.58-7.64)	4.97 c (4.46-6.04)	5.31 bc (4.06-6.55)	5.53 bc (4.06-6.74)	4.03**	31.63	68.37
pH	4.33 a (4.11-4.53)	4.19 a (4.16-4.21)	4.16 a (4.01-4.31)	4.25 a (3.98-4.45)	4.21 a (3.97-4.38)	4.28 a (4.04-4.43)	4.25 a (4.01-4.39)	4.25 a (4.09-4.39)	1.17 ^{ns}	11.80	88.20
Titrateable acidity (%)	0.35 c (0.31-0.43)	0.71 a (0.58-0.84)	0.40 c (0.33-0.50)	0.54 b (0.35-0.81)	0.45 bc (0.29-0.57)	0.43 bc (0.35-0.54)	0.45 bc (0.33-0.62)	0.45 bc (0.38-0.58)	5.10***	36.91	63.09
Taste index	1.08 bc (0.96-1.19)	1.28 a (1.25-1.30)	1.13 bc (1.05-1.26)	1.18 ab (0.90-1.36)	1.15 bc (0.86-1.26)	1.02 c (0.96-1.11)	1.06 bc (0.92-1.18)	1.08 bc (0.90-1.25)	2.91*	25.01	74.99
Glucose (g·kg ⁻¹)	8.84 a (5.24-11.74)	9.94 a (8.23-11.64)	8.33 a (5.05-9.70)	8.31 a (6.56-10.09)	7.15 a (4.65-9.71)	9.66 a (4.96-15.43)	10.22 a (7.40-16.61)	9.34 a (4.13-13.79)	1.57 ^{ns}	15.23	84.77
Fructose (g·kg ⁻¹)	12.96 a (8.94-17.39)	7.78 c (6.81-8.74)	13.36 a (11.69-16.70)	9.10 bc (4.66-13.72)	10.31 abc (8.26-11.88)	8.74 bc (7.69-10.83)	12.01 ab (7.40-17.20)	11.45 abc (4.65-19.93)	2.88*	24.85	75.15
Citric acid (g·kg ⁻¹)	3.56 a (2.34-5.18)	3.05 a (2.45-3.65)	3.80 a (1.84-5.86)	3.11 a (1.62-6.25)	3.52 a (2.18-4.80)	3.95 a (2.73-6.27)	3.44 a (1.00-6.08)	2.83 a (1.31-5.09)	0.77 ^{ns}	8.09	91.91
Lycopene (mg·kg ⁻¹)	45.71 ab (36.49-66.84)	58.73 a (30.30-87.17)	42.38 ab (17.81-70.95)	25.25 b (12.74-58.36)	51.03 ab (17.16-78.58)	44.71 ab (10.46-90.05)	30.03 b (13.72-54.22)	35.80 ab (14.57-98.27)	2.23*	20.36	79.64

Traits	Varietal groups								F-ratio ^b	Sums of squares (%)	
	Borseta (n=5)	Cherry (n=2)	Cor (n=7)	Penjar (n=12)	Plana (n=7)	Pruna (n=5)	Redona (n=19)	Valenciana (n=12)		Between groups	Within groups
β-carotene (mg·kg ⁻¹)	8.93 c (6.04-12.08)	18.70 a (17.48-19.92)	8.37 c (7.21-10.44)	13.67 b (8.58-21.98)	7.88 c (6.29-11.50)	6.33 c (5.19-8.06)	7.66 c (4.02-11.05)	7.60 c (5.65-12.80)	15.26***	63.65	36.35
Ascorbic acid (mg·kg ⁻¹)	190.8 c (164.2-216.2)	315.1 a (292.1-338.2)	186.5 c (153.2-224.8)	252.3 b (194.5-373.4)	177.4 c (128.9-233.2)	151.6 c (140.8-160.9)	185.2 c (136.8-236.5)	181.3 c (127.9-218.1)	12.11***	58.16	41.84
Total phenolics (mg·kg ⁻¹)	576.4 c (423.2-715.6)	1171.4 a (968.2-1374.6)	608.5 bc (435.2-696.6)	764.2 b (386.6-1194.2)	580.5 c (395.4-714.4)	495.5 c (413.8-594.8)	516.4 c (416.0-720.2)	541.7 c (346.2-735.2)	9.64***	52.52	47.48
Antioxidant activity (mmol TE·kg ⁻¹)	2.22 b (1.57-2.68)	3.58 a (3.33-3.82)	1.98 b (1.32-2.36)	3.31 a (1.85-5.27)	2.06 b (1.38-2.88)	1.59 b (1.30-1.91)	2.06 b (0.98-3.10)	1.93 b (1.57-2.48)	7.06***	44.76	55.24

^a Varietal group means within columns separated by different letters are significantly different according to the Duncan multiple range test at $P \leq 0.05$.

^b ***, **, *, and ^{ns} indicate significant at $P < 0.001$, $P < 0.01$, $P < 0.05$, or non-significant, respectively.

3.3. Correlations among traits

A total of 26 linear correlations were significant according to the Bonferroni test at a significance level of $P \leq 0.05$ (Table 4). All the significant correlations detected were positive. Dry matter, soluble solids and titratable acidity were significantly intercorrelated; dry matter and soluble solids were also significantly correlated with taste index. Dry matter, soluble solids and titratable acidity were also significantly correlated with all antioxidant traits, except lycopene (Table 4). Taste index was significantly correlated with ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activity. No significant correlations were found involving pH, sugars, citric acid or lycopene. Antioxidants β -carotene, ascorbic acid and total phenolics, as well as the antioxidant activity, were significantly intercorrelated (Table 4).

Table 4. Pearson linear correlation coefficients between accession mean values (n=69) for the composition traits (expressed on a fresh weight basis) studied for which the correlation was significant according to the Bonferroni test ($P \leq 0.05$; $r \geq 0.382$). Traits for which no significant correlation was obtained have been excluded from the table.

	Soluble solids	Titratable acidity	Taste index	β -carotene	Ascorbic acid	Total phenolics	Antioxidant activity
Dry matter	0.902	0.650	0.832	0.573	0.692	0.828	0.580
Soluble solids		0.600	0.924	0.466	0.613	0.785	0.529
Titratable acidity				0.520	0.474	0.598	0.466
Taste index					0.553	0.726	0.428
β -carotene					0.720	0.619	0.639
Ascorbic acid						0.800	0.886
Total phenolics							0.745

3.4. Principal components analysis

The first and second components of the PCA accounted, respectively for 43.9% and 11.6 % of the total variation among accession means (Table 5). The first component was positively correlated with dry matter, soluble solids, titratable acidity, as well as with all antioxidant traits, except lycopene (Table 5). The second principal component was positively correlated with pH, ascorbic acid and antioxidant activity, and negatively with soluble solids, taste index, glucose, fructose, citric acid and lycopene (Table 5). The centroid values for Borseta, Cor, Plana, Pruna, Redona and Valenciana groups cluster together in the PCA plot, with negative values for the first component and intermediate values for the second component. Groups Penjar and Cherry present positive values for the first component and higher (Penjar) and lower (Cherry) values than the rest of cultivar group centroids for the second component (Fig. 1). The projection of the individual accessions in the PCA plot shows that accessions, with the exception of the Cherry group, accessions of the different groups are intermingled (Fig. 1). However, the two most representative groups (Valenciana and Penjar) present a low degree of overlap. The first component separates the accessions of the Cherry group and part of the Penjar group accessions, which plot in the right part of the PCA plot (with first component values above 2), from the rest of accessions (Fig. 1). For the second component, in general for each of the groups there is a broad dispersion. However, for the Penjar and Borseta groups there are no accessions with highly negative values; conversely, for the Cor group there is only one accession having a positive (although low) value (Fig. 1).

Table 5. Correlation coefficients between composition traits (expressed on a fresh weight basis) and the two first principal components in a collection of 69 accessions of local varieties of tomato. Only those correlations with absolute values ≥ 0.2 have been listed.

Trait	First principal	Second principal
Dry matter (%)	0.384	
Soluble solids (%)	0.370	-0.207
pH		0.295
Titrateable acidity (%)	0.281	-0.284
Taste index	0.332	-0.167
Glucose ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		-0.417
Fructose ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		-0.323
Citric acid ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		-0.255
Lycopene ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		-0.524
β -carotene ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.301	
Ascorbic acid ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.362	0.213
Total phenolics ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.389	
Antioxidant activity ($\text{mmol TE}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.333	0.241
Variance explained (%)	43.9	11.6

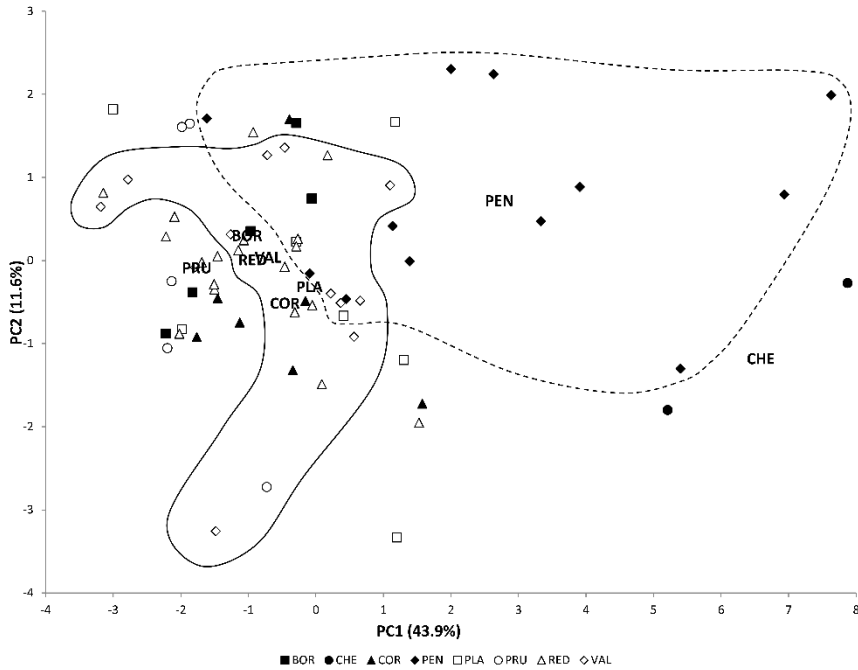


Fig. 1. Similarities based on fruit composition among 69 accessions of local varieties of tomato represented on the two first principal components of PCA. First and second components account for 43.9% and 11.6% of the total variation, respectively. The different cultivar groups are represented by different symbols: Borseta (BOR; filled square), Cherry (CHE; filled circle), Cor (COR; filled triangle), Penjar (PEN; filled rhombus), Plana (PLA; open square), Pruna (PRU; open circle), Redona (RED; open triangle), and Valencià (VAL; open rhombus). First and second component centroids for each of the cultivar groups are indicated using the group code. The continuous and dashed lines encompass, respectively, accessions of the most characteristic local landraces Penjar and Valencià.

4. Discussion

The large diversity for composition traits relevant for taste and functional quality found in the collection of traditional varieties of tomato evaluated matches the wide morphological variation found in the same set of accessions (Figàs et al., 2015). Our data are in agreement with other studies on the diversity for chemical composition traits of local varieties of tomato (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2014) and reveal that local varieties are highly variable for composition traits and, therefore, amenable to selection.

The average levels for the traits evaluated are generally comparable to other tomato studies (Fernández-Ruiz et al., 2004; Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Ilahy et al., 2011; Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2014). The somewhat larger values for total phenolics obtained by us compared to other works (Ilahy et al., 2011; Cortés-Olmos et al., 2014) is probably due to the fact that we expressed the results in equivalents of chlorogenic acid, which is the major phenolic compound of tomato (Siddiqui et al., 2015), instead of the commonly used gallic acid (Ilahy et al., 2011) or caffeic acid (Cortés-Olmos et al., 2014). Chlorogenic acid has an antioxidant activity similar to caffeic acid (Rice-Evans et al., 1997), but it has a higher molecular weight, and this may explain the higher values obtained by us. Remarkably, the average taste index, which is related to the relationship between soluble solids content and titratable acidity, had a value above 1, indicating that most of the local varieties evaluated may be considered as tasty (Navez et al., 1999). Probably, the fact that plants used for the present study were cultivated outdoors during

the summer season, under conditions that favour the production of tomato fruits with good quality, has contributed to achieving good values for the taste index (Cebolla-Cornejo et al., 2011). With the exception of pH, differences of several-fold have been found for all traits studied. Even in the case of pH, the differences (0.56 units) can be considered as large, as a difference of 1 unit in pH represents 10 times in the concentration of H⁺ ions. The traits with largest phenotypic and genotypic variation were the contents in lycopene and β -carotene, suggesting that important genetic advances can be achieved by selection in the collection studied (Panthee et al., 2013). Apart from its interest for its functional and bioactive properties (Roccioni et al., 2009; Keikel et al., 2011), both carotenoids are determinant for the fruit color (Siddiqui et al., 2015). In particular high levels of lycopene are associated to intense red fruits (Hyman et al., 2004), and selection of local accessions with high content in lycopene would result in an added value (Ilahy et al., 2011).

The Cherry and Penjar cultivar groups had an average composition profile different from the rest of cultivar groups, with generally higher levels of dry matter, soluble solids, titratable acidity, taste index, β -carotene, ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activity. It is well known that Cherry tomatoes normally are tastier than standard regular size tomatoes (Zanor et al., 2009). The fact that the fruit size and yield per plant in Cherry tomatoes is lower than for regular size tomato varieties is probably a main reason for the higher concentration values for most traits observed in this cultivar group (Panthee et al., 2013). Regarding the Penjar tomatoes, this cultivar group is characterized by the presence of the *alc* mutation (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014), which interferes with ripening and confers a long shelf life (Vrebalov et al., 2002; Bota et al.,

2014). Penjar fruits, on average, have a smaller fruit size than other groups of local varieties, like Borseta, Cor, Plana, Redona and Valenciana (Figàs et al., 2015). Our results support previous observations indicating that the *alc* mutation, apart from delaying ripening, has pleiotropic effects on the physiology of the plant and also on the fruit composition (Vrebalov et al., 2002). A negative effect of the *alc* mutation in composition is a reduction in the concentration of lycopene (Vrebalov et al., 2002). On the other hand, the high antioxidant activity of Penjar tomatoes may play a role in its extended shelf life.

An important diversity has been detected for the traits studied within each of the cultivar groups. Other studies involving cultivar groups of local tomato varieties have found similar results (Cortés-Olmos et al., 2014). In this way, with the exception of the Cherry group, a complete overlap has been found among cultivar groups for all traits. This indicates that the selection of accessions of each cultivar group with an improved content in compounds relevant for taste and functional quality is feasible. This is of great relevance for the enhancement of local varieties associated to high standards of quality (Hurtado et al., 2014), as well as to identify sources of variation for breeding (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Cortés-Olmos et al., 2014). In this respect, genotype \times environment (G \times E) interactions may be important for the traits studied (Cebolla-Cornejo et al., 2011; Panthee et al., 2013) and further work should be undertaken to evaluate the extent of G \times E interactions in this collection.

Positive intercorrelations found between dry matter, soluble solids, titratable acidity, and taste index were expected, as these traits are interrelated (Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013). However, positive correlations were also found with these most of these traits and β -carotene,

ascorbic acid, and total phenolics. This is relevant as it indicates that, in the collection studied, selection of accessions with high values for traits related to improved taste will also have high content in bioactive compounds and antioxidant activity. The different antioxidants, with the exception of lycopene, and the antioxidant activity were also positively intercorrelated. Ascorbic acid and total phenolics presented the highest correlation values with the antioxidant activity. In this respect, among the antioxidants the highest concentration was found for total phenolics, being followed by ascorbic acid (3-fold less on average). Given that the antioxidant activities of the major tomato phenolics chlorogenic acid and quercetin is higher than that of ascorbic acid (Rice-Evans et al., 1997) and the levels of carotenoids are comparatively much lower than those of phenolics and ascorbic acid, our results support the view that the major contributors to antioxidant activity in tomato are phenolics (Toor and Savage, 2005).

The multivariate PCA analysis confirmed the results obtained with univariate methods and provided a good separation of the Cherry tomato accessions and most of the Penjar group accessions from the rest of varietal groups, which are intermingled and plot in the same area of the PCA graph. This is in contrast with morphological data, which provide a clear separation of the cultivar groups studied here (Figàs et al., 2015). In this respect, cultivar groups of tomato usually are established by morphological traits rather than for composition traits (Díez and Nuez, 2008). The results also reveal that the Penjar and Valenciana cultivar groups, which are the most characteristic ones in the region of València (Figàs et al., 2015), are clearly separated and have a low degree of overlap in the PCA plot, indicating that both groups have different composition

profiles, which is important for marketing strategies (Oltman et al., 2014). In this respect, these two types have different uses, with Valenciana being commonly used in salads, while the fruits of Penjar are mostly used for rubbing onto bread (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014). The PCA analysis also reveals that there is a large variation in composition profile among Penjar tomato accessions, which present a wide range of values for the first component. This is probably associated to the fact that the Penjar tomato is a conglomerate of accessions carrying the *alc* mutation introgressed in different genetic backgrounds (Casals et al., 2012), rather than a group of accessions with a common genetic background.

5. Conclusions

The collection of local varieties evaluated has been very diverse for composition traits involved in taste and functional properties. Two groups (Cherry and Penjar) have shown composition profiles distinct from the rest of groups, which have presented similar average values for the traits studied. The large diversity found within each of the groups, together with the positive correlation between taste and functional quality traits indicates that there are good prospects for the selection of local varieties of each group with improved composition. Our study is of interest for the enhancement of local varieties of tomato as it provides information on differences among and within cultivar groups for traits related to organoleptic and functional quality. These results will allow the selection of local accessions of tomato with better quality and adapted to the demands of consumers.

Acknowledgements

This work has been funded by Universitat Politècnica de València. Isabel Andújar is grateful to Universitat Politècnica de València for a post-doctoral contract (PAID-10-14).

References

- Beauvoit, B. P., Colombié, S., Monier, A., Andrieu, M. H., Blais, B., Bénard, C., Chéniclet, C., Dieuaide-Noubhani, M., Nazaret, C., Mazat, J.P., Gibon, Y. (2014). Model-assisted analysis of sugar metabolism throughout tomato fruit development reveals enzyme and carrier properties in relation to vacuole expansion. *The Plant Cell*, 26, 3222-3223.
- Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63, 129-140.
- Bota, J., Conesa, M.A., Ochogavia, J.M., Medrano, H., Francis, D.M., Cifre, J. (2014). Characterization of a landrace collection for Tomàtiga de Ramellet (*Solanum lycopersicum* L.) from the Balearic Islands. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61, 1131-1146.
- Brugarolas, M., Martínez-Carrasco, L., Martínez-Poveda, A., Ruiz, J.J. (2009). A competitive strategy for vegetable products: traditional varieties of tomato in the local market. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7, 294-304.
- 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.
- 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.

- Causse, M., Friguet, C., Coiret, C., Lépicier, 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., Roselló, S., Valcárcel, M., Serrano, E., Beltrán, 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.
- Cortés-Olmos, J., Leiva-Brondo, M., Roselló, J., Raigón, M. D., Cebolla-Cornejo, J. (2014). The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2888-2904.
- Del Río, D., Rodríguez-Mateos, A., Spencer, J. P. E., Tognolini, M., Borges, G., Crozier, A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. *Antioxidant and Redox Signaling*, 18, 1818-1892.
- Di Gioia, F., Serio, F., Buttano, D., Ayala, O., Santamaria, P. (2010). Influence of rootstock on vegetative growth, fruit yield and quality in 'Cuore di Bue', an heirloom tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85, 477-482.
- Díez, M. J., Nuez, F. (2008). Tomato. In J Prohens, & F Nuez (Eds.), *Handbook of plant breeding: Vegetables II* (pp. 249-323). New York: Springer.
- Du, J., Cullen, J. J., Buettner, G. R. (2012). Ascorbic acid: Chemistry, biology and the treatment of cancer. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1826, 443-457.
- Ercolano, M. R., Sacco, A., Ferriello, F., D'Alessandro, R., Tononi, P., Traini, A., Barone, A., Zago, E., Chiusano, M. L., Buson, G., Delledonne, M., Frusciante, L. (2014). Patchwork sequencing of

- tomato San Marzano and Vesuviano varieties highlights genome-wide variations. *BMC Genomics*, 15, 138.
- Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Torija, M. E., Chaya, C., Galiana-Balaguer, L., Roselló, S., Nuez, F. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *HortScience*, 39, 339-345.
- Figàs, M. R., Prohens, J., Raigón, M. D., Fernández-de-Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62, 189-204.
- García-Martínez, S., Corrado, G., Ruiz, J. J., Rao, R. (2013). Diversity and structure of a sample of traditional Italian and Spanish tomato accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 789-798.
- Hochberg, Y. (1988). A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance. *Biometrika*, 75, 800-803.
- Hurtado, M., Vilanova, S., Plazas, M., Gramazio, P., Andújar, I., Herraiz, F. J., Castro, A., Prohens, J. (2014). Enhancing conservation and use of local vegetable landraces: the *Almagro* eggplant (*Solanum melongena* L.) case study. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61, 787-795.
- Hyman, J. R., Gaus, J., Foolad, M. R. (2004). A rapid and accurate method for estimating tomato lycopene content by measuring chromaticity values of fruit puree. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 717-723.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., Dalessandro, G. (2011). Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Scientia Horticulturae*, 127, 255-261.
- Keikel, M., Schumacher, M., Dicato, M., Diederich, M. (2011). Antioxidant and anti-proliferative properties of lycopene. *Free Radical Research*, 45, 925-940.
- Labate, J. A., Sheffer, S. M., Balch, T., Robertson, L. D. (2011). Diversity and population structure in a geographic sample of tomato accessions. *Crop Science*, 51, 1068-1079.

- Mazzucato, A., Papa, R., Bitocchi, E., Mosconi, P., Nanni, L., Negri, V., Picarella, M. E., Siligato, F., Soressi, G. P., 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.
- Megazyme. (2008). *D-fructose and D-glucose assay procedure K-FRUC* 09/13. Wicklow, Ireland: Megazyme International Ireland.
- Navez, B., Letard, M., Graselly, D., Jost, J. (1999). Les critères de qualité de la tomate. *Infos-Ctifl*, 155, 41-47.
- Oltman, A. E., Jervis, S. M., Drake, M. A. (2014). Consumer attitudes and preferences for fresh market tomatoes. *Journal of Food Science*, 79, S2091-S2097.
- Panthee, D. R., Labate, J. A., McGrath, M. T., Breksa III, A. P., Robertson, L. D. (2013). Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica*, 193, 169-182.
- Riccioni, G. (2009). Carotenoids and cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports*, 11, 434-439.
- Raigón, M. D., Prohens, J., Muñoz-Falcón, J. E., Nuez, F. (2008). Comparison of eggplant landraces and comercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 370-376.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2, 152-159.
- Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Roselló, S., Nuez, F. (2005). “Heirloom” varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 453-460.
- Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 270-276.
- Siddiqui, M. W., Ayala-Zavala, J. F., Dhua, R. S. (2015). Genotypic variation in tomatoes affecting processing and antioxidant properties.

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, doi 10.1080/10408398.2012.710278.

- Terzopoulos, P. J., Bebeli, P. J. (2010). Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Scientia Horticulturae*, 126, 138-144.
- Toor, R. K., Savage, G. P. (2005). Antioxidant activities in different fractions of tomato. *Food Research International*, 38, 487-494.
- Vrebalov, J., Ruezinski, D., Padmanabha, V., White, R., Medrano, D., Drake, R., Schuch, W., Giovannoni, J. J. (2002). A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening inhibitor (rin) locus. *Science*, 296, 343-346.
- Wricke, G., Weber, W. E. (1986). *Quantitative genetics and selection in plant breeding*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Zanor, M. I., Rambla, J. L., Chaib, J., Steppa, A., Medina, A., Granell, A., Fernie, A. R., Causse, M. (2009). Metabolic characterization of loci affecting sensory attributes in tomato allows an assessment of the influence of the levels of primary metabolites and volatile organic

SELECCIÓN Y MEJORA

Capítol 1. Estudi de la distribució de quallat en distintes seleccions masals de la “Tomaca Valenciana d’El Perelló”.

M.R. Figàs, A. Martín, C. Casanova, E. Soler, J. Prohens y S. Soler.

Institut de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana,
Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia.

Cita: Figàs, M.R., Martín, M.D., Casanova, C., Soler, E., Prohens, J., Soler, S. 2017. Estudi de la distribució de quallat en distintes seleccions masals de la “Tomaca valenciana d’El Perelló”, p. 73-83. En: Soler, S., Figàs, M.R. i Prohens, J. (Eds.). *I Congrés de la Tomaca Valenciana: La Tomaca Valenciana d’El Perelló*. UPV, València,

Resum:

En els últims anys, ha cobrat importància l'interès pel cultiu de les varietats tradicionals d'hortalisses. No obstant això, aquestes presenten una falta d'estudis de caracterització i tipificació. Aquests són imprescindibles per detectar factors que dificulten la seua explotació, així com per emprendre programes de millora de les mateixes per augmentar la seua competitivitat i rendibilitat. En aquest treball s'han caracteritzat 3 poblacions de tomaca 'Valenciana d'El Perelló'. L'objectiu ha estat obtenir informació fenotípica de rellevància en aquest tipus de tomaca. Aquesta informació està sent molt útil per a la seua millora genètica. Així, hem pogut constatar que les poblacions emprades de tomaca 'Valenciana d'El Perelló' es caracteritzen per presentar fruits del tipus "masplet" amb una freqüència elevada i un nivell productiu molt acceptable. La menor productivitat de les seleccions assajades en comparació amb el control comercial pareix ser deguda a una concentració de la producció en els 2-3 primers pomells de la planta; i una caiguda dràstica del quallat en els pomells superiors. No obstant, en el programa de selecció i millora de la tomaca 'Valenciana d'El Perelló' que s'està realitzant es disposa de seleccions amb una freqüència de masclets molta elevada y una distribució de quallat molt més uniforme.

Paraules clau: Tomaca Valenciana d'El Perelló, varietats locals, quallat, selecció massa

Abstract:

In recent years, has taken important interest in the cultivation of traditional varieties of vegetables. However, these studies show a lack of characterization and classification. These are essential to identify factors that hinder their operation, as well as to undertake programs to improve them to increase their competitiveness and profitability. In this work we have characterized three populations of 'Valenciana d'El Perello' tomato. The aim has been phenotypic information relevant in this type of tomato. This information has been very useful for their breeding. Thus, we have found that the populations used for 'Valenciana d'El Perello' tomato are characterized by fruits such as "Masplet" with a high frequency and very productive level acceptable. The lower productivity of the teams tested compared to commercial control seems to be due to a concentration of production in the first 2-3 Pomells plant; and a drastic fall in mincemeat Pomells superiors. However, the program of selection and improvement of the tomato 'Valenciana d'El Perello' being made available to teams with a much higher frequency masclets and distribution of more uniform fruit set.

Keywords: Tomaca Valenciana d'El Perelló, local varieties, fruit set, masal selection.

1.- Introducció.

Les varietats tradicionals de tomaca (*Solanum lycopersicum* L.) han constituït un germoplasma crucial per al desenvolupament de les actuals varietats comercials d'aquesta hortalissa (Díez i Nuez, 2008). No obstant això, aquestes varietats tradicionals s'han vist desplaçades de manera molt important per les varietats comercials millorades, especialment als acabaments del segle XX. Una de les causes d'aquest desplaçament ha sigut la falta de resistència a malalties i sobre tot la seua menor productivitat. En els últims anys, ha cobrat importància l'interès pel cultiu d'aquest tipus de varietats, la qual cosa pot contribuir a la recuperació de la seva explotació comercial i alhora contribuir al manteniment de la rendibilitat agrària dels agricultors (Casañas, 2006; Soler et al., 2010). No obstant això, les varietats tradicionals freqüentment no tenen estudis de caracterització i tipificació, que impedeixen l'establiment de les característiques distintives de les mateixes (Hammer, 2003; Spooner et al., 2003; Hammer i Diederichsen, 2009) . A més aquests estudis, són imprescindibles per detectar factors que dificulten la seva explotació, així com per emprendre programes de millora de les mateixes per augmentar la seva competitivitat i rendibilitat (García-Martínez et al., 2013; Hurtado et al ., 2014).

La tasca de classificació i identificació dels tipus varietals de les varietats tradicionals no és gens fàcil. En el cas de la tomaca, les principals varietats tradicionals de tomaca a València son els tipus: 'De Borseta', 'Del Pebre', 'De Penjar', 'De Pruna', 'Mutxamel' i 'Valenciana' (Díez y Nuez, 2008; García-Martínez et al. 2013; Figàs et al., 2015). Aquest últim tipus és el més apreciat a les comarques al voltat de la Ciutat de València.

Així, aquesta varietat es genuïna de la denominada “Plana de València” que inclou les riberes dels rius Xúquer, Túria i Palància i molt específicament a la zona de l’horta de la ciutat de València. Aquest tipus varietal presenta tres formes de fruit en una mateixa planta. La principal forma de fruit es la denominada “masclet” i es la morfologia que identifica el tipus varietal. Consisteix an fruits amb forma de cor, que s’allarguen en la zona pistil·lar, cosa que fa que tinguen una forma apuntada. Són els fruits que major preu poden arribar a tindre en el mercat. El segon tipus de fruit es el “femella”. Aquest consisteix en fruits lleugerament aplanats i en forma de cor, amb la regió pistil·lar indentada i amb cicatriu pistil·lar oberta. El fet de que no posseeixen la morfologia típica de tomata ‘Valenciana’ fa que no tinguen preus tan elevats com el tipus masclet. Per últim, el tercer tipus de fruit es el denominat “rotllo”. Consisteix en tomaques aplanades, deformes (fasciades) i que solen produir-se a partir de la primera flor de cada pomell de flors de la planta.

Una de les varietats tradicionals tipus ‘Valenciana’ que als últims anys han adquirit més prestigi es la denominada tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’. Aquesta varietat presenta unes excepcionals característiques de qualitat organolèptica i amb unes característiques morfològiques típiques del tipus ‘Valenciana’. També presenta una elevada freqüència de fruits “masclet”, amb lòculs xicotets distribuïts de forma regular al voltant d’un cor de secció circular i de grans dimensions, el que li confereixen una gran fermesa i carnositat. Malgrat això, en la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’, al igual que en moltes varietats tradicionals de tomaques, es constata la inestabilitat de les produccions no només a causa de la incidència de malalties, sinó per una seqüència de quallat poc uniforme. En aquest sentit,

s'ha plantejat en aquest treball estudiar en detall el patró o seqüència de quallat de la tomaca 'Valenciana d'El Perelló'.

2.- Material i mètodes.

Es va utilitzar com a material de partida una amalgama de llavors de 3 poblacions de tomaca 'Valenciana d'El Perelló' (COOP-211, COOP-767 i COOP-886), obtingudes mitjançant un procés de selecció massal. Així mateix, es va utilitzar una varietat de tomaca 'Valenciana' anomenada "Sueca" i l'híbrid comercial tipus 'Beef' anomenat 'Eufrates'. De cadascuna de les tres procedències de llavors obtingudes mitjançant selecció massal es van posar entre 93 i 95 individus. De la varietat 'Sueca' es van posar 25 i de l'híbrid comercial 50. Per a la caracterització morfològica, agronòmica i de qualitat es van utilitzar una sèrie de característiques seleccionades d'entre els descriptors de tomaca publicats per la FAO. Aquestes característiques han sigut les següents:

1.- característiques de planta.

- Densitat del fullatge (3, escassa; 5, intermitja; 7, densa).
- Posició de la fulla (3, semi erecta; 5, horitzontal; 7, inclinada).
- Tipus d'inflorescència (1, unípara; 2, ambdos; 3, multípara).

2.- característiques de fruit.

- Color exterior del fruit madur (coordinades L, a y b).
- Muscles verds en fruit no madur (0, absents; 1, presents).
- Forma predominant dels fruits (1, xata; 2, lleugerament xata; 3, redona; 4, redona-allargada; 5, cor; 6, cilíndrica; 7, piriforme; 8, el·lipsoide).
- Tamany del fruit (pes en grams).

- Homogeneïtat del tamany del fruit (3, poca; 5, intermitja; 7, molta).
- Forma del tall transversal (1, redona; 2, angular; 3, irregular).
- Tamany del cor (en cm).
- Anàlisi Tomato Analyzer.

3.- característiques agronòmiques.

- N° de inflorescències.
- N° de flores por inflorescència.
- N° de fruits quallats per pomell.
- Fasciació del fruit (3, lleugera; 5, intermitja; 7 greu).
- N° de fruits “rotllo” per planta.
- Producció (en grams)

4.- Característiques de qualitat.

- pH del suc.
- Vitamina-C (mg de àcid ascòrbic por 100 grams de tomaca).
- Graus Brix, °B.
- Acidesa (% de àcid cítric).
- Antioxidants (micro mols Equivalents Trolox por gram de mostra).

3.- Resultats i discussió.

Les tres seleccions de tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’ mostren com característiques morfològiques més diferencials respecte de la varietat comercial la presència de inflorescències no unípares i irregulars, fruits cordiformes apuntats d'un color vermell menys fosc i una menor homogeneïtat de la mida del fruit. La varietat comercial ‘Eufrates’, per

contra presenta una inflorescència sencilla (unípara), fruits xatos, de color roig fosc i amb una elevada uniformitat; típica d'una varietat comercial.

Així, les tres seleccions de la cooperativa mostren unes característiques distintives i típiques de l'anomenat tipus 'Valenciana' (taula 1, figura 1). Aquestes característiques més importants són la presència de: fruits de cor i apuntat, amb múscles verds intensos i una zona carnososa i àmplia a l'interior del fruit (cor). La varietat 'Sueca', possiblement per ser procedent d'una zona propera al Perelló, presenta característiques molt similars, encara que destaca per presentar fruit menys apuntats o xatos amb més freqüència.

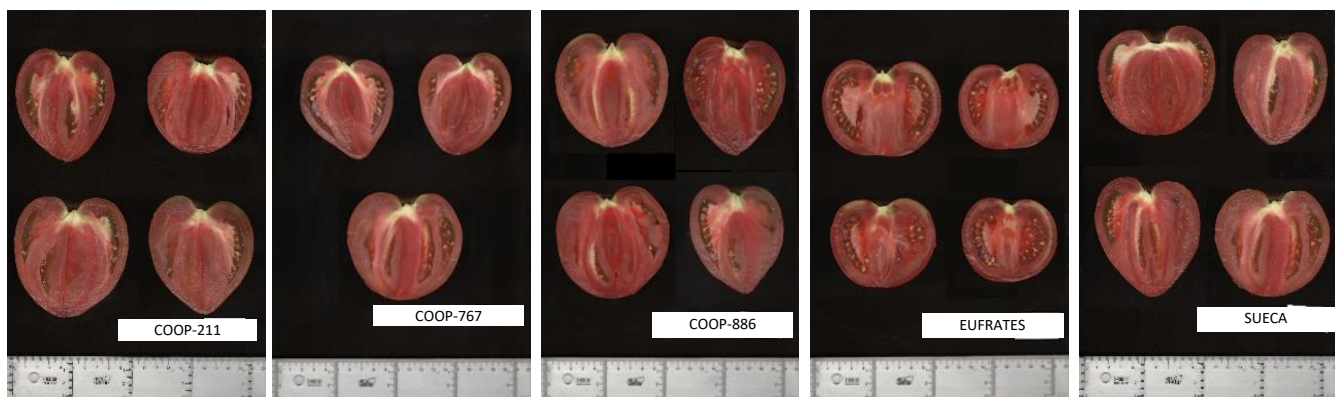


Figura 1.- Fotos de Tomato Analyzer (part superior) i fotos de grup (part inferior) de COOP-211, COOP-767, COOP-886, 'Eufrates' i Sueca.

Tabla 1.- Resultats de la caracterització dels 5 materials provats (valors mitjos).

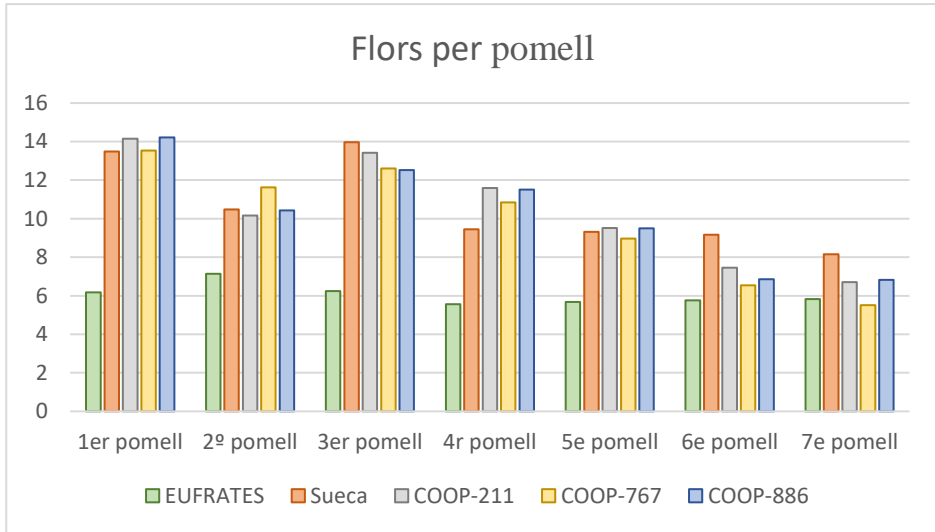
CARÀCTER		COOP- 211	COOP- 767	COOP- 886	Eufrates	Sueca
1.- Característiques planta						
Densitat de fulles ^a		6	6	5	5	6
Posició de la fulla ^b		6	6	6	7	6
Tipus d'inflorescència ^c		2,05	2,91	2,99	1,11	3
Nº de fulles fins 1 ^a inflorescència		7,47	7,36	7,47	7,59	7,25
2.- Característiques de fruit						
Color exterior ^d	L	35,76	37,73	37,13	32,59	36,75
	a	19,82	22,61	21,69	23,36	20,63
	b	15,56	16,53	15,94	13,73	15,88
Muscles verds en fruit no madur ^e		1	1	1	1	1
Forma predominant del fruit ^f		5	5	5	1	5
Pes mig del fruit (grams)		247,5	244,6	237,9	254,3	256,5
Homogeneïtat de tamany del fruit ^g		4,09	4,22	4,16	6,14	4
Forma tall transversal ^h		1,15	1,33	1,12	1,31	1
Tamany del cor (cm)		4,53	5,02	4,68	4,13	5,09
Penetròmetre ⁱ		1,84	1,72	1,81	2,17	1,86
3.-Característiques agronòmiques						
Nombre d'inflorescències		7	7	7	7	7
Nombre de flors por inflorescència	1	14,15	13,53	14,22	6,18	13,48
	2	10,16	11,62	10,43	7,14	10,48
	3	13,41	12,60	12,52	6,24	13,96
	4	11,59	10,84	11,51	5,56	9,44
	5	9,51	8,96	9,49	5,68	9,32
	6	7,46	6,54	6,85	5,76	9,16
	7	6,71	5,51	6,83	5,82	8,16
Nombre de fruits quallats per pomell	1	8,13	6,42	6,03	5,34	6,08
	2	4,30	3,50	3,70	4,96	3,52
	3	3,03	2,57	2,69	3,68	2,96
	4	4,47	2,25	2,65	3,22	2,00
	5	1,99	1,46	0,69	3,64	0,20
	6	0,27	0,87	0,04	3,70	0,16
	7	0,00	0,48	0,00	3,08	0,08
Fasciació del fruit ^j		5	5	5	4,57	5
Nombre de fruits rotllo per planta		0,76	0,81	1,14	0	1,32
Producció por planta (grams)		5162,7	5018,2	4449,2	6855,84	4286,
4.- Característiques de qualitat						
pH del suc		4,26	4,31	4,31	3,66	3,71
Vitamina-C (mg/100 grams de matèria fresca)		16,32	16,56	18,71	18,46	16,69
Graus brix, °B		3,33	4,14	4,24	4,36	4,04
Acidesa (% d'àcid cítric)		0,33	0,41	0,31	0,41	0,35
Índex de sabor		0,84	0,93	0,99	0,94	0,94
Antioxidants (Equivalents Trolox per gram de mostra)		0,501	0,427	0,536	0,605	0,399

- a: (3, escassa; 5, intermèdia; 7, densa).
- b: (3, semi erecta; 5, horitzontal; 7, inclinada).
- c: (1, unípara; 2, ambos; 3, multípara).
- d: Color del fruit mesurat amb un colorímetre amb els paràmetre L, a i b.
- e: (0, absents; 1, presents).
- f: (1, xata; 2, lleugerament xata; 3, redona; 4, redona-allargada; 5, cor; 6, cilíndrica; 7,piriforme; 8, el-lipsoide).
- g: (3, poca; 5, intermèdia; 7, molta).
- h: (1, redona; 2, angular; 3, irregular).
- i: Fermesa dels fruits mesurada amb un pentrómetre.
- j: (3, lleugera; 5, intermèdia; 7 greu).

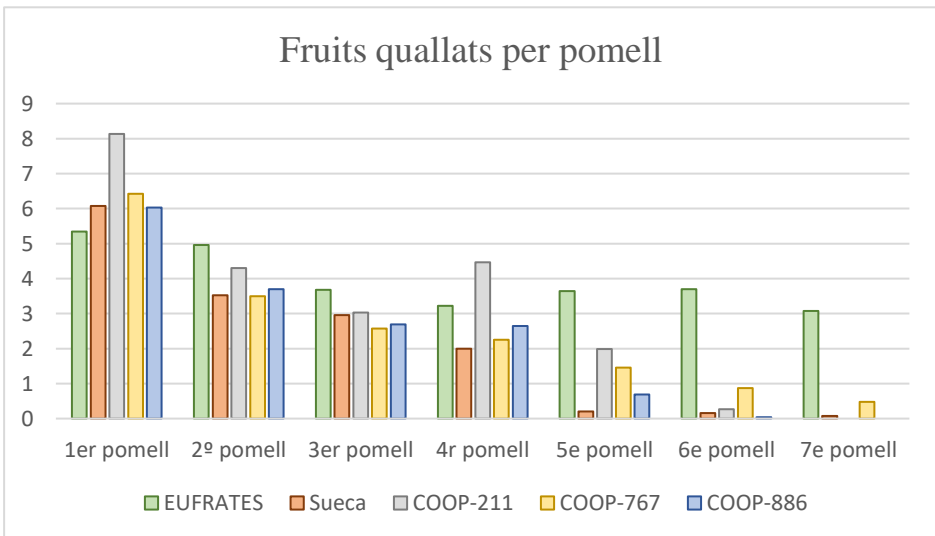
És de destacar que dins de les tres seleccions de la cooperativa i també dins de l'entrada 'Sueca' s'observa una certa variabilitat per a caràcters com l'apuntament dels fruits, l'existència de ratlles verdes en el fruit, la intensitat dels muscles verds , així com el si els fruits són llisos o si com es denomina pels agricultors són 'agallonats' o 'acostellats'. Aquesta situació és la que ha fet plantejar un programa de selecció dins d'aquestes poblacions per a distintes morfologies de fruit.

No obstant això, el més ressaltable dels treballs de caracterització realitzats, és la distribució de flors peculiar que presenten els materials de tomaca tipus 'Valenciana' (Gràfic 1). Aquests presenten un nombre màxim de flors en els pomells basals que va disminuint a mesura que ens acostem als pomells superiors. No obstant això, a 'Eufrates', el nombre de flors per raïm es manté més o menys constant al llarg de tota la planta (5-7). Aquesta distribució de la floració es tradueix en una fructificació massiva en el primer i segon raïm de les seleccions de tomàquet tipus 'Valenciana' i una fallada de collita en els raïms superiors d'aquest tipus varietal (Gràfic 2).

Per contra, a 'Eufrates', la fructificació és bastant uniforme al llarg de tota la planta (Gràfic 1, Gràfic 2 i Taula 2).



Gràfic 1.- Flors per pomell en els 5 materials provats.



Gràfic 2.- Fruits quallats per pomell en els 5 materials provats.

Taula 2.- Distribució de la producció, pes mig de fruit i percentaje de cuallat per pomell en els 5 materials provats.

CARACTERÍSTICA	MATERIAL				
	COOP- 211	COOP- 767	COOP- 886	EUFRADES	Sueca
Producció 1er pomell	1507,43	1770,75	1744,66	1295,72	1719,48
Pes mig	253,09	284,79	303,72	247,59	292,79
% cuallat	59,04	52,30	50,73	87,40	47,89
Producció 2n pomell	1258,49	991,15	1044,30	1037,80	993,08
Pes mig	310,74	286,33	277,94	212,49	287,17
% cuallat	50,96	33,85	42,43	70,89	36,31
Producció 3er pomell	857,83	760,14	772,54	765,62	820,64
Pes mig	273,56	269,98	254,87	214,66	209,88
% cuallat	25,77	22,48	22,49	59,14	20,35
Producció 4t pomell	1283,10	696,27	798,94	749,98	644,00
Pes mig	264,92	291,28	276,36	236,59	236,01
% cuallat	41,04	24,88	26,19	58,29	24,78
Producció 5é pomell	520,46	430,88	191,97	955,20	60,68
Pes mig	120,62	221,35	76,84	259,95	34,97
% cuallat	18,77	16,82	7,67	64,24	1,47
Producció 6é pomell	56,37	246,65	14,46	1024,56	36,84
Pes mig	13,64	131,07	7,23	278,93	9,21
% cuallat	4,75	13,27	0,69	64,79	2,67
Producció 7é pomell	0,00	122,45	0,00	1026,96	12,00
Pes mig	0,00	68,21	0,00	330,04	6,00
% cuallat	0,00	8,47	0,00	55,16	1,14
Producció per planta	5162,76	5018,29	4449,25	6855,84	4286,72


4.- Conclusions.

Les seleccions de la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’ provades al present treball comprenen una sèrie de característiques típiques del tipus varietal de tomaca ‘Valenciana’, un dels més genuïns dels territoris valencians. Aquestes seleccions es caracteritzen per presentar fruits del tipus “mascler” amb una freqüència elevada.

Les tres seleccions provades de la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’, encara que han presentat nivells productius menors que el corresponent al control comercial (65-75 %), tenint en compte el major preu de venda per kilo, constitueixen varietats molt prometedores dins dels mercats actuals amb una demanda creixent d’aquest tipus de varietats per part dels consumidors.

La menor productivitat de les seleccions assajades de tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’ en comparació amb el control comercial pareixen ser degudes a una falta dràstica de quallat en els pomells de flor a partir del 3^{er}-4^t i una concentració de la producció en els 3 primers pomells. No obstant, en el programa de selecció i millora de la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’ que s’està realitzant es disposa de seleccions amb una freqüència de masclets molta elevada y una distribució de quallat molt més uniforme (767-57).

Agraïments

Este treball ha sigut finançat per la Cooperativa Valenciana Unió Protectora d’El Perelló i pel programa de investigació i innovació Horizonte 2020 de la Unió Europea a través del contracte No. 634561 (TRADITOM; .

Referències bibliogràfiques

- Casañas, F. (2006). Varietats tradicionals, obtenció de cultivars amb característiques organolèptiques superiors i agricultura en espais periurbans Catalans. *Quaderns Agraris* 30:117-127.
- Díez, M.J., Nuez, F. (2008). Tomato, pp. 249-323. En: Prohens J, Nuez F. (eds), *Handbook of plant breeding: Vegetables II*, Springer, New York, NY, USA.
- Escrivà, C., Baviera, A. y Buitrago, J.M. (2010). Marcas de calidad agraria en la Comunidad Valenciana. En: *El derecho civil valenciano tras la reforma del estatuto de autonomía*. Ed.: Ramón Fernández, F. Tirant. Valencia, España.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernàndez de Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet Resour. Crop Evol.*, 62: 189-204.
- García- Martínez, S., Alonso, A., Rubio, F., Grau, A., Valero, M., Ruiz, J.J. (2013). Nuevas líneas de mejora de tomate Muchamiel resistentes a virus obtenidas en el programa de mejora genética de la EPSO-UMH. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid.
- Hammer, K. (2003). Resolving the challenge posed by agrobiodiversity and plant genetic resources – an attempt. *J. Agric. Rural Dev. Tropics Subtropics* 76:1-184.
- Hammer, K., Diederichsen, A. (2009). Evolution, status and perspectives for landraces in Europe, pp. 23-43. En: Veteläinen M, Negri V, Maxted N (eds) *European landraces: on-farm conservation, management and use*, Bioversity International, Rome, Italia.
- Hurtado, M., Vilanova, S., Plazas, M., Gramazio, P., Andújar, I., Herraiz, F.J., Castro, A., Prohens, J. (2014). Enhancing conservation and use of local vegetable landraces: the Almagro eggplant (*Solanum melongena* L.) case study. *Genet. Res. Crop Evol.* 61:787-795.

- Shi, A., Vierling, R., Grazzini, R., Chen, P., Caton, H., y Panthee, D. (2011). Molecular markers for Tm-2 alleles of Tomato mosaic virus resistance in tomato. *American Journal of Plant Sciences*, 2(02), 180.
- Soler, S., Prohens, J., López, C., Aramburu, J., Galipienso, L. y Nuez, F. (2010). Viruses infecting tomato in Valencia, Spain: occurrence, distribution and effect of seed origin. *Journal of Phytopathology*, 158: 797-805.
- Spooner, D.M., Hetterscheid, W.L.A., van den Berg, R.G., Brandenburg, W.A. (2003). Plant nomenclature and taxonomy: An horticultural and agronomic perspective. *Hort. Rev.* 28:1-60.

Capítulo 2. Millora genètica de la tomaca ‘valenciana d’El Perelló’ per a resistència al virus del mosaic de la tomaca (*Tomato mosaic virus*, ToMV)

M.R. Figàs, A. Martín, C. Casanova, E. Soler, J. Prohens y S. Soler.

Institut de Conservació i Millora de l’Agrodiversitat Valenciana,
Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia.

Cita: Figàs, M.R., Martín, M.D., Casanova, C., Soler, E., Prohens, J., Soler, S.(2017). Millora genètica de la tomaca valenciana d’El Perelló per a resistència al virus del mosaic de la tomata (Tomato Mosaic Virus, ToMV). En: Soler, S., Figàs, M.R.and Prohens, J. (Eds.). *I Congrés de la Tomaca Valenciana: La Tomaca Valenciana d’El Perelló*. UPV, València, pp 115-127.

Resum:

La tomaca tradicional valenciana és apreciada per les seues propietats organolèptiques que li atorguen un elevat interès comercial. En concret la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’ és cada vegada més apreciada en les superfícies comercials. Aquesta tomaca presenta diferents trets morfològics, agronòmics i de qualitat que la fan atractiva per al llaurador i per al consumidor. No obstant, de vegades presenta problemes d’uniformitat de producció, així com d’altres característiques importants. D’altra banda, aquesta varietat presenta una elevada susceptibilitat a malalties com la causada pel virus del mosaic de la tomaca (ToMV). Així, una forma molt interessant de potenciar aquest cultiu tan valencià, és obtenir varietats més uniformes així com resistents al ToMV. En aquest treball és du a terme tant un programa de selecció així como un programa de millora genètica de la resistència al ToMV de la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’. Es pretén per una banda augmentar la uniformitat de producció i la presència de trets característics d’aquesta varietat, a la vegada que s’introgressa el gen *Tm2²* de resistència al ToMV.

Paraules clau: Tomaca Valenciana d’El Perelló, ToMV, varietats locals, virosis, marcador molecular.

Abstract:

Tomato traditional Valencian is appreciated for its organoleptic properties that confer a high commercial interest. In particular the tomato 'Valenciana d'El Perello' is increasingly appreciated in the stores. This tomato has different morphological, agronomic and quality traits that make it attractive to the farmer and the consumer. However, sometimes presents problems of uniformity of production, as well as other important features. Moreover, this variety has a high susceptibility to diseases such as caused by the *Tomato mosaic virus* (ToMV). Thus, a very interesting way of promoting this Valencian crop, is to achieve more uniform and varieties resistant ToMV. In this work is carried out both a program selection as well as a program of genetic improvement of resistance to ToMV of the tomato 'Valenciana d'El Perello'. It is intended on the one hand to increase production and uniformity of the characteristics of this variety, while incorporating *Tm2²* resistance gene ToMV.

Keywords: 'Valenciana d'El Perello' tomato, ToMV, local varieties, viruses, molecular marker.

1.- Introducció.

La tomaca 'Valenciana d'El Perelló' és una varietat tradicional valenciana amb excepcionals característiques de qualitat organolèptica. Presenta fruits amb lòculs xicotets distribuïts de forma regular al voltant d'un cor de secció circular i de grans dimensions, el que li confereixen una gran fermesa i carnositat. En els darrers 5 anys aquesta varietat tradicional presenta una projecció econòmica molt important, amb una producció comercialitzada anual superior als 800.000 kg. Per aconseguir una valorització d'aquesta varietat és necessari realitzar una caracterització morfològica i agronòmica que permeti la seva tipificació com a producte únic, diferenciat i de qualitat (Escrivà et al., 2010).

D'altra banda, en la tomaca 'Valenciana d'El Perelló', igual que en moltes varietats tradicionals de tomaques, es constata la inestabilitat de les produccions a causa de la incidència de malalties. Així, és important dur a terme com a mesura de suport per al cultiu d'aquest tipus de varietats la seva millora genètica, especialment per a malalties d'origen víric com la causada pel virus del mosaic de la tomaca (*Tomato mosaic virus*, ToMV) (Soler et al., 2010; García- Martínez et al., 2013).

En aquest context, aquest treball planteja dues activitats. La primera és la selecció de la tomaca 'Valenciana d'El Perelló' per a augmentar la seua uniformitat a nivell de característiques morfològiques i agronòmiques. La segona és la introducció de resistència al virus del mosaic de la tomaca (ToMV). L'objectiu d'aquestes tasques es valoritzar aquest cultiu, en concret de la varietat 'Valenciana d'El Perelló'.

2.- Material i mètodes.

2.1.- Material vegetal.

PROGRAMA DE SELECCIÓ DE LA TOMACA ‘VALENCIANA D’EL PERELLÓ’.

Es va partir de 95 plantes de dos seleccions massals de tomaca del tipus ‘Valenciana’, procedents de la Cooperativa Valenciana Unió Protectora d’El Perelló (UNIPRO). El primer cicle de cultiu es van seleccionar 11 plantes de la selecció COOP-767 i 5 plantes de la selecció COOP-886. Aquestes seleccions es van efectuar en base a una caracterització morfològica i agronòmica utilitzant els següents descriptors, per tal de determinar de forma precisa les característiques típiques de la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’:

1.- Característiques de planta.

- Densitat del fullatge (3, escasa; 5, intermitja; 7, densa).
- Posició de la fulla (3, semierecta; 5, horitzontal; 7, inclinada).
- Tipus d’inflorescència (1, unípara; 2, ambdos; 3, multípara).

2.- Característiques de fruit.

- Color exterior del fruit madur (coordenades L, a y b).
- Muscles en fruit no madur (0, absents; 1, presents).
- Intensitat dels muscles (3, lleu; 5, intermitja; 7, forta).
- Forma predominant dels fruits (1, xatos ; 2, lleugerament xatos; 3, redons; 4, redons-allargats; 5, cordiforme; 6, cilíndrics; 7, piriformes; 8, el·lipsoides).
- Tamany del fruit (pes en grams).
- Homogeneïtat del tamany del fruit (3, poca; 5, intermitja; 7, molta).
- Forma del tall transversal (1, redona; 2, angular; 3, irregular).

- Tamany del cor (en cm).
 - Anàlisi Tomato Analyzer.
- 3.- Característiques agronòmiques.
- Fasciació del fruit (3, leugera; 5, intermitja; 7 greu).
 - Producció (en grams).

Les plantes seleccionades es van autofecundar per a constituir les mares del primer cicle del programa de retrocreuament explicat a continuació (primavera 2015). El nombre de plantes procedents de l'autofecundació de les plantes seleccionades dels materials inicials (COOP-767 i COOP-886) fou de 32. D'aquestes, es van seleccionar les plantes fenotípicament millors i es van autofecundar per a constituir les mares del segon retrocreuament (tardor 2015). D'aquestes autofecundacions es posaren al cicle següent 20 plantes per a confeccionar el tercer retrocreuament (primavera 2016) i es tornaren a seleccionar les plantes fenotípicament superiors per a constituir les mares del quart i últim retrocreuament (tardor 2016).

PROGRAMA DE RETROCREUAMENT.

Per al programa de retrocreuaments es va partir de les 95 plantes de cadascuna de les 2 seleccions de tomaca 'Valenciana d'El Perelló' esmentades anteriorment, així com de 50 plantes de l'híbrid comercial 'Eufrates' (Syngenta). Les plantes de COOP-767 i COOP-886 seleccionades foren utilitzades com a mares del creuament inicial (C1), al ser pol·linitzades amb pol·len del parental donant de la resistència al ToMV ('Eufrates').

2.2.- Desinfecció de llavors i realització de planters.

Amb la finalitat de reduir al màxim l'aparició de malalties transmeses per llavor es va dur a terme la desinfecció d'aquestes en cada cicle de cultiu. La desinfecció consistia en submergir les llavors en una solució de trifosfat de sodi (TSP) al 10% durant 3 hores. Posteriorment es realitzaven 3 llavats amb aigua destil·lada de 15 minuts cadascun. El pas següent consistia en sotmetre les llavors a un tractament amb hipoclorit sòdic (lleixiu comercial) al 30% durant 1 hora. Després d'açò es realitzava 1 llavat amb abundant aigua destil·lada. Posteriorment, les llavors es deixaven eixugar en paper de filtre. Quan les llavors estaven completament eixugades, cosa que comprovàvem mitjançant l'ús de Silica-Gel, es sotmetien a un procés de termoteràpia que consistia en un tractament de 80°C durant 24 h en una estufa.

Per un altre costat, una vegada les llavors havien passat pel tractament de desinfecció, es portaven a un viver comercial on es preparaven els planters. Una vegada es disposava de les plàntules amb 8-10 fulles desenvolupades, la qual cosa ocorria unes 5-6 setmanes després de la sembra (Febrer-Març) o unes 4 setmanes (Agost), es portaven als hivernacles d'UNIPRO.

2.3.- Condicions de cultiu.

Cada cicle de cultiu es duia a terme en hivernacles pertanyents a UNIPRO. Aquests es troben en El Perelló (Ribera Baixa). En cada cicle de cultiu les plantes es disposaren a una distància de 0,40 m entre plantes i 1,25 m entre files. El nombre de plantes i files a partir del segon cicle

variarien dependent de la procedència. Es a dir, si procedien de l'autofecundació de plantes del tipus 'Valenciana' fenotípicament superiors, o de la realització d'un retrocreuament.

El reg es va realitzar mitjançant sistema de degoteig o reg a manta dependent del hivernacle emprat a cada cicle. Cal destacar que el primer reg, és a dir, l'immediat després del transplantament consistia en un reg de la parcel·la a manta. El sòl tenia una textura sorra-argilosa. Les característiques d'aquest sòl fan que una fertilització addicional siga necessària. En aquest sentit, les fertilitzacions foren mitjançant l'ús de N, P₂O₅ i K₂O amb una quantitat de 220 Kg/ha, 50 Kg/ha i 280 Kg/ha respectivament. Les males herbes s'arrencaven a ma i el tractament de fitosanitaris s'utilitzava quan era necessari.

2.4.- Descripció del programa de millora realitzat.

PROGRAMA DE SELECCIÓ DE LA TOMACA 'VALENCIANA D'EL PERELLÓ'.

Per a dur a terme aquest programa de selecció es va aplicar la "selecció individual en varietats heterogènies", en el qual a partir de dues seleccions massals (COOP-767 i COOP-886) es van realitzar seleccions en les successives generacions d'autofecundacions. Cadascun dels individus seleccionats el primer cicle de cultiu es van convertir en progenitors d'una família en la pròxima generació, a partir de la qual es va elegir de nou el millor individu. Aquest individu seleccionat en aquesta generació a la vegada es va convertir en el progenitor d'una nova família en la següent generació. D'aquesta manera el procés es va repetir durant 4 cicles de cultiu.

PROGRAMA DE RETROCREUAMENT.

Per a dur a terme el programa de retrocreuament es va partir de l'híbrid 'Eufrates', el qual va actuar com a parental donant, i de les plantes seleccionades de COOP-767 i COOP-886. El primer cicle de cultiu (Abril-Juny de 2014) es van realitzar els creuaments entre aquestes plantes i 'Eufrates', generant el creuament inicial (C1). Al segon cicle (Abril-Juny de 2015) es va dur a terme el segon retrocreuament (RC1), emprant com a mares les plantes procedents de l'autofecundació de les plantes de 'Valenciana d'El Perelló' seleccionades el primer cicle de cultiu. Com a pares es van utilitzar només aquells individus C1 heterozigots portador de l'al·lel de resistència $Tm2^2$. Per identificar aquests individus es va emprar un marcador molecular associat al gen de resistència. Cal destacar que, per a assegurar el següent cicle, els retrocreuaments no només es van fer sobre els individus de tomaca valenciana seleccionats en el programa de selecció, sinó també sobre aquells individus que més flors presentaven. A més a més, també es va fer una selecció d'aquells individus heterozigots presents en RC1, que sent portadors del gen de resistència, eren fenotípicament més semblants a la tomaca 'Valenciana d'El Perelló'. D'aquesta manera, es va repetir el mateix procés de selecció i creuaments, realitzant l'RC2 el cicle tercer (Setembre-Desembre de 2015), l'RC3 el cicle quart (Abril-Juny de 2016) i l'RC4 el cicle cinqué (Setembre 2016-Gener 2017).

2.5.- Selecció de plantes portadores del gen de resistència $Tm2^2$.

En aquest treball es va emprar un marcador SNP (Single Nucleotide Polymorphism) per a realitzar el genotipat d'aquelles plantes procedents del C1, RC1, RC2, RC3 i RC4. Per a dur a terme aquesta selecció assistida per marcadors ens vam basar en la publicació de Shi et al., (2011) i amb dos seqüències disponibles en "GenBank" (FJ817600.1 i FJ817602.1) corresponents a al·lel susceptible " $tm2^2$ " i a l'al·lel resistent " $Tm2^2$ " per a desenvolupar encebadors que ens permeteren identificar els SNPs associats al gen susceptible i al resistent. D'aquesta manera érem capaços de discernir aquelles plantes heterozigòtiques portadores del gen dominant $Tm2^2$ que dona resistència al ToMV d'aquelles susceptibles.

Per a poder seleccionar les plantes resistents a cadascuna de les generacions emprades (C1, RC1, RC2, RC3 i RC4) es va extraure ADN genòmic de fulles joves. De cadascuna de les plantes es van prendre aproximadament 75 mg de teixit vegetal. El protocol seguit va ser el mètode CTAB (Doyle, 1987).

Adicionalment a la selecció de les plantes resistents a cadascuna de les generacions esmentades, en cada cicle de cultiu es va dur a terme un xicotet assaig per a validar la resistència d'aquelles plantes portadores del gen de resistència $Tm2^2$. A partir de plantes de tomaca infectades amb la raça 0 del ToMV es va preparar un triturat de fulles. La pasta obtinguda es va filtrar a través d'un teixit de muselina i es va recollir el filtrat en un got de precipitats. L'extracte obtingut es va diluir en aigua destil·lada en una proporció 1:10 (pes: volum). A partir de les plantes portadores del gen $Tm2^2$ (identificades amb el marcador), es van obtenir esqueixos. Aquests, una volta arrelats varen ser inoculats de forma mecànic, amb l'inòcul

preparat, mitjançant un aplicador de cotó. L'inòcul es va distribuir per la superfície foliar i es va comprovar que les plantes es mantenien resistents.

3.- Resultats i discussió.

3.1.- Programa de selecció de la tomaca 'Valenciana d'El Perelló'.

Els resultats de la caracterització de les dos seleccions massals d'UNIPRO revelen que les característiques que defineixen de forma més precisa a la tomaca 'Valenciana d'El Perelló' són la forma de cor i apuntat del fruit en la regió pistil·lar. Aquests fruits presenten muscles verd intens en estat pintó i de vegades ratlles verdes que van des de la base fins al terminal de floració. Es caracteritzen també per ser molt sòlids, carnosos i amb molt poca llavor. No obstant això, per a aquestes quatre característiques es va observar variabilitat en les dues poblacions avaluades. Així, de les 95 plantes de cadascuna de les dos seleccions massals (COOP-767 i COOP-886) de les quals es va partir, es van seleccionar 11 plantes de la selecció COOP-767 (22, 27, 38, 44, 50, 53, 54, 57, 63, 68 i 89) i 5 plantes de la selecció COOP-886 (41, 42, 54, 55 i 81) amb distintes combinacions de característiques. Aquestes plantes es van autofecundar per a constituir les mares del següent cicle en el programa de retrocreuaments. En els següents cicles es va repetir el procés. Actualment es disposa de la quarta generació d'autofecundació d'aquells llinatges seleccionats (taula 1, figura 1).

Taula 1.- Característiques morfològiques dels llinatges seleccionats en el programa de selecció

SELECCIÓ	CARACTERÍSTICA				
	Muscles verds ^a	Apuntament ^a	Acostellat ^a	Ratlles verdes ^a	Sequencia de quallat ^b
COOP-767-22	2	2	1	2	2
COOP-767-27	3	3	1	2	2
COOP-767-38	2	2	1	1	2
COOP-767-44	3	2	1	2	2
COOP-767-50	3	2	1	1	2
COOP-767-53	3	2	1	3	2
COOP-767-54	2	2	1	1	2
COOP-767-57	3	3	1	1	3
COOP-767-63	3	2	2	3	2
COOP-767-68	2	3	2	2	2
COOP-767-89	3	1	1	2	2
COOP-886-41	1	2	1	1	1
COOP-886-42	2	2	1	2	2
COOP-886-54	3	3	1	1	2
COOP-886-55	3	1	1	3	2
COOP-886-81	3	2	1	1	2

a: Intensitat del caràcter (1, baixa; 2, mitjana; 3: alta).

b: Seqüència de quallat (1, mitjana; 2, bona; 3, molt bona).

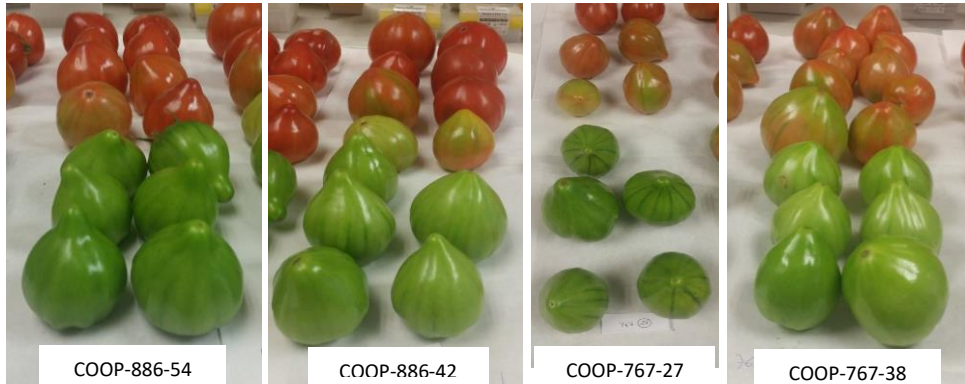


Figura 1.- Fruits verds i rojos de 4 dels 16 llinatges obtinguts de “Tomaca Valenciana d’El Perelló

3.2.- Programa de retrocreuament.

Les 11 plantes seleccionades de COOP-767 i les 5 de COOP-886 es van utilitzar com a mares en el C1 amb ‘Eufrates’ (Abril-Juny 2014). El cicle següent (Abril-Juny de 2015) es va realitzar l’RC1 emprant aquelles plantes heterozigòtiques procedents del C1 com a parentals masculins i les plantes procedents de l’autofecundació de les 16 seleccions de ‘Valenciana d’El Perelló’ com a parental femení. Dels 16 llinatges originals no es va aconseguir realitzar amb èxit l’RC1 amb els llinatges COOP-767-44, COOP-767-54 i COOP-767-57. Cal destacar que per al llinatge COOP-767-27, el RC1 tot i que es va poder realitzar amb èxit, no es van poder obtenir plantes d’aquest retrocreuament ja que les llavors no van germinar. D’aquesta manera, el programa de retrocreuaments va seguir amb els 12 llinatges restants. Aquest procés es va repetir realitzant així l’RC2 (Setembre-Desembre de 2015). Posteriorment, (Abril-Juny de 2016) es van dur a terme els creuaments corresponents a l’RC3 amb els 12 llinatges

citats; COOP-767-22, 38, 50, 53, 63, 68 i 89, i COOP-886-41, 42, 54, 55 i 81. Aquests RC3 presentaven una recuperació molt elevada del fenotip de ‘Valenciana d’El Perelló’ (figura 2). S’ha pogut també realitzar l’RC4 (Setembre de 2016- Gener de 2017) amb aquests mateixos llinatges. Es va a posar en camp en el següent cicle (Abril-Juny de 2017) els RC4 obtinguts per a la seua autofecundació i poder fixar el gen *Tm2²* en homocigosi.

Cal destacar que a mesura que avançava el programa de millora i es duïen a terme els creuaments, també es va fer una selecció d’aquells individus heterozigots procedents de l’RC1, RC2 i RC3, que sent heterozigots, eren el més semblants a la tomaca ‘Valenciana d’El Perelló’. Per a dur a terme aquesta qüestió a cada planta de l’RC1, RC2 i RC4 se li assignava un índex de fenotip ‘Valenciana d’El Perelló’ (0=Eufrates i 10=Valenciana). S’escollien com a parentals masculins dins dels RC1, RC2 i RC3 aquelles plantes amb un índex més alt (figura 2).



Figura 2.- Planta d’RC1 (llinatge 767-27) resistent al ToMV envoltada de plantes susceptibles (esquerra) i planta d’RC3 (llinatge 767-38) que ja presenta característiques típiques de la “Tomaca Valenciana d’El Perelló” (dreta).

Altres aspectes que cal tractar és la successió temporal dels cicles de cultiu realitzats. Atenent al fet que en el cultiu de la tomaca, i més a València que disposa d'hiverns suaus, es poden realitzar dos cicles de cultiu a l'any, la successió lògica de cicles en aquest programa de millora hauria d'haver sigut: 1er cicle C1 (Abril-Juny 2014), 2n cicle RC1 (Setembre-Desembre de 2014), 3er cicle RC2 (Abril-Juny de 2015), 4t cicle RC3 (Setembre-Desembre de 2015) i 5è cicle RC4 (Abril-Juny de 2016). En canvi la successió real ha sigut: 1er cicle C1 (Abril-Juny 2014), 2n cicle RC1 (Abril-Juny de 2015), 3er cicle RC2 (Setembre-Desembre de 2015), 4t cicle RC3 (Abril-Juny de 2016) i 5è cicle RC4 (Setembre-Desembre de 2016). El motiu pel qual la successió de cicles va ser la segona opció és que durant la realització del cicle de Setembre-Desembre de 2014 la selecció d'individus resistents es va fer a nivell de plàntula abans de trasplantar a camp, cosa que va endarrerir el trasplant. Açò va fer que es retrasara la realització de creuaments a Novembre-Desembre i es va comprometre el quallat de fruits amb llavors, obtenint-se així fruits sense llavors o amb llavors inviables. D'aquesta manera, el cicle següent (Abril-Juny de 2015) es va haver de repetir el procés per aconseguir llavor d'RC1. Cal destacar que a partir d'aquest cicle, i per evitar el retràs en els cicles de tardor i no perdre cap cicle, el genotipat es va dur a terme una vegada trasplantades les plantes.

Els resultats d'inoculació de plantes suposadament portadores del gen de resistència *Tm2²* identificades com a tals emprant el marcador molecular tipus SNP, confirmen la utilitat d'aquest marcador en la millora de la resistència al virus del mosaic de la tomaca. En aquest sentit, cal destacar, que en el 3er cicle de cultiu del programa de millora (Setembre-Desembre de 2015) va haver un brot de ToMV a l'hivernacle on s'estava

duent a terme el programa de millora (obtenció de RC2). El tret important d'açò va ser que totes les plantes que genotípicament havien estat identificades com a portadores del gen de resistència en el RC1, mostraven un vigor adequat i no mostraven símptomes de virosis (figura 2). En canvi, la resta de plantes, o siga, les homozigòtiques recessives mostraven de forma molt evident símptomes de ToMV.


4.- Conclusions.

Els resultats obtinguts revelen que les característiques que defineixen de forma més precisa a la tomaca 'Valenciana d'El Perelló' són la forma de cor i apuntat del fruit, la presència de muscles verd intens en estat pintó i la presència de ratlles verdes al fruit. Aquest fruits es caracteritzen també per ser molt sòlids, carnosos i amb poca pulpa. No obstant això, per a aquestes quatre característiques es va observar variabilitat en les dos poblacions avaluades. Així, es van poder seleccionar individus amb diferents intensitats d'apuntament, espatlles verdes, ratlles i acostellat. En l'actualitat, després de quatre cicles de selecció i autofecundació es disposa de 16 seleccions o llinatges de tomaca 'Valenciana d'El Perelló' amb una alta uniformitat i bons nivells de productivitat.

Actualment, i després d'un creuament inicial i 4 cicles de retrocreuament es disposa de seleccions d'RC4 per a 12 dels 16 llinatges inicials de "Tomaca Valenciana d'El Perelló". La consecució d'aquest programa de millora, una vegada es facen les autofecundación per a la fixació del gen de resistència $Tm2^2$, permetrà posar a disposició del llaurador un conjunt de llinatges de tomaca 'Valenciana d'El Perelló',

resistents al ToMV i amb bones característiques agronòmiques.

Agraïments

Aquest treball ha sigut finançat per la Cooperativa Valenciana Unió Protectora d'El Perelló i per el programa d'investigació i innovació Horizonte 2020 de la Unió Europea a través del contracte No. 634561 (TRADITOM; )

Referències bibliogràfiques

- Doyle, J. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem Bull.*, 19:11-15.
- Escrivà, C., Baviera, A., Buitrago, J.M. (2010). Marcas de calidad agraria en la Comunidad Valenciana. En: *El derecho civil valenciano tras la reforma del estatuto de autonomía*. Ed.: Ramón Fernández, F. Tirant. Valencia, España.
- García- Martínez, S., Alonso, A., Rubio, F., Grau, A., Valero, M., Ruiz, J.J. (2013a). Nuevas líneas de mejora de tomate Muchamiel resistentes a virus obtenidas en el programa de mejora genética de la EPSO-UMH. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid.
- Soler, S., Prohens, J., López, 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.
- Shi, A., Vierling, R., Grazzini, R., Chen, P., Caton, H., Panthee, D. (2011). Molecular markers for *Tm-2* alleles of *Tomato mosaic virus* resistance in tomato. *American Journal of Plant Sciences*, 2(02), 180.

**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD
DE DESCRIPTORES DE TOMATE
PARA LA CARACTERIZACIÓN DE
VARIEDADES LOCALES DE
TOMATE.**

Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions

Maria R. Figàs, Jaime Prohens, Cristina Casanova, Pascual Fernández-de-Córdoba, Salvador Soler

Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana,
Universitat Politècnica de València, 46022 València, Spain

Cita: Figàs, M.R., Prohens, J., Casanova, C., Fernández-de-Córdoba, P., Soler, S. (2018). Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions. *Sci. Hort.* 238, 107-115.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.039>

Abstract

Germplasm and breeding materials are usually characterized using morphological and agronomic descriptors, which should usually have a high heritability. Despite the widespread use of tomato (*Solanum lycopersicum*) standardized descriptors, little information exists on environmental effects on descriptor values and their heritability. We have evaluated 12 tomato accessions from seven cultivar groups in three different environments (open-field conventional, open-field organic, and greenhouse) and characterized them with 36 descriptors. A wide range of variation was found for most descriptors, demonstrating their utility for describing tomato materials and their diversity and relationships. The analysis of descriptors variation reveals that while for some descriptors with a simple genetic control the accession effect accounts for 100% of the variation, for others like yield per plant only 10.83% of the variation observed is due to the accession effect. Although significant differences were found among environments for most descriptors, including a much higher yield in the open-field conventional environment than in the two others, the environmental effect was low for most traits. However, the genotype \times environment effect generally had an important contribution to the structure of variation for many descriptors, and for three traits it had the highest contribution to the percentage of the sum of squares. As a result of the variation structure, the heritability values are high (>0.7) for only 10 descriptors, while for five is low (<0.3). Principal components analysis (PCA) reveals that projections in the PCA graph of a same accession grown in different environments plot together in the same area of the PCA graph. Although cultivar groups are generally clearly separated in the PCA

graph, accessions from the same cultivar group in some cases are intermixed. These results have important implications for detecting tomato duplicates and establishing core collections, as well as for analyzing germplasm and breeding results, when using data sets containing data of accessions grown in different environments.

Keywords:

Characterization

Descriptors

Genotype \times environment interaction

Germplasm

Heritability

Solanum lycopersicum

1. Introduction

Standardized descriptor lists for the characterization of germplasm collections and breeding stocks constitute an important tool for germplasm banks and breeders as they allow using an internationally agreed format, facilitating comparison of characterization data sets among germplasm banks and trials (Gotor et al., 2008). Up to now, Bioversity International has published descriptors lists for over 100 crops (Bioversity International, 2017). Also, the UPOV has descriptors lists for the characterization of new varieties in distinctness, uniformity and stability (DUS) tests (UPOV, 2017). The characterization and evaluation descriptors lists include morphological and agronomic traits that are of relevance for breeders. Depending on the trait, descriptors are metric, meristic, measured

according to an arbitrary quantitative scale, or assigned to qualitative states (Grum and Atieno, 2007). Ideally, standardized descriptors should display a wide variation in the collections of materials characterized, as well as having a high heritability (Ortiz Ríos, 2015), which in turn requires a low environmental influence. Descriptors having these characteristics are highly informative. However many traits that are of interest for breeders, in particular those polygenic, are influenced by the environment (Annicchiarico, 2002). For example, yield is a typical example of an important trait highly affected by the environment (van Bueren et al., 2011; van Ittersum et al., 2013). A way to overcome the influence of the environment is using common controls in the trials, so that an estimate of the environment effect can be obtained allowing its removal in the comparisons of data sets from different environments (Ortiz Ríos, 2015). However, when important genotype \times environment exists, the comparisons of distinct materials grown in different environments are flawed, and this can lead to unreliable results (Annicchiarico, 2002). High genotype \times environment interaction can also difficult the morphological traits-based detection of duplicates in germplasm banks (Diederichsen, 2009).

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the most important vegetable crop, and over 75.000 accessions being conserved in germplasm banks (Robertson and Labate, 2006). Bioversity International standardized descriptors have been available for tomato for over two decades (IPGRI, 1996). Since then, Bioversity International descriptors for tomato have been widely used by germplasm banks and breeders (Mazzucato et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; de Castro et al., 2010; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2015; Figàs et al., 2015; Parisi et al., 2016).

These reports generally show that IPGRI (1996) descriptors display a large range of variation and are useful to distinguish among accessions and varietal groups. However, amazingly, in most of the cases where germplasm is characterized using IPGRI (1996) descriptors they contain data of a single location and year, and there are few works reporting data of several years or environments. One exception is the work done by Mazzucato et al. (2008), whom used 22 morpho-physiological traits, largely conforming with IPGRI (1996) tomato descriptors, in 61 tomato and wild relatives accessions grown in two locations. In this work, significant genotype \times environment interaction was found for 21 out of the 22 descriptors, although the authors indicate that this interaction was mostly caused by the performance of a few genotypes for each trait (Mazzucato et al., 2008). In another work, Rao et al. (2006) used UPOV descriptors to evaluate ‘San Marzano’ accessions for three years. These authors found that some homogeneous accessions that matched the ‘San Marzano’ type in one year did not match it in other years. Overall, these data seem to indicate that, while IPGRI (1996) tomato descriptors are appropriate for describing the main morphological characteristics of tomato materials as well as for assessing variation in germplasm and breeding collections, their values and scores may be influenced by the environment and by genotype \times environment interaction.

The lack of information on the stability of morphological descriptors in tomato in different environments contrasts with the large number of studies evaluating the effects of genotype \times environment in tomato for agronomic and fruit quality traits (Ortiz et al., 2007; Cebolla-Cornejo et al., 2011; Adalid et al., 2012; Panthee et al., 2012, 2013). In general, these works reveal that there is a large genotype \times environment

interaction for yield and composition traits, and a moderate or low one for fruit shape traits. Given the importance of standardized descriptors, like those of IPGRI (1996), in tomato germplasm management and in breeding, it is necessary to have an assessment of the genotype \times environment interaction of these widely used descriptors, in particular when comparing data from data sets from different environments or years.

In this work we use a set of IPGRI (1996) descriptors to evaluate 12 tomato accessions in three different cultivation conditions (open-field conventional, open-field organic, and greenhouse conventional). The results will provide information on the stability of the different descriptors in different environmental conditions, and on the utility of the utilization of a multiple set of standardized descriptors for providing a characterization profile that allow differentiation among varieties grown in different environments. All this information will be relevant for tomato germplasm characterization and breeding.

2. Material and methods

2.1. Plant material

Twelve phenotypically diverse local varieties from the region of València (Spain) were used in the present study (Table 1; Figure 1). The accessions belong to seven different cultivar groups of local Valencian varieties (Borseta, Cor, Penjar, Plana, Pruna, Redona, Valenciana) as described in Figàs et al. (2015). Four accessions belong to the Penjar group, which is characterized by the presence of the *alc* mutation, which confers a long shelf-life (Casals et al., 2012), and small or medium-sized

fruits, three to the Plana group, characterized by large flattened fruits, and one accession to each of the groups Borseta (pyriform), Cor (slightly heart-shaped), Pruna (cylindrical), Redona (rounded), and Valenciana (heart-shaped) (Table 1).

Table 1 Local tomato varieties used for the present study including the varietal type (according to Figàs et al., 2015), and origin (municipality and province) within the Valencian Region (Spain).

Accession code	Varietal type	Predominant fruit shape	Origin	
			Municipality	Province
AX1	Penjar	Flattened	Alcalà de Xivert	Castelló
AX2	Penjar	Rounded	Alcalà de Xivert	Castelló
DA2	Cor	Slightly heart-shaped	Dos Aigües	València
FU1	Plana	Flattened	Fuenterrobles	València
MA2	Pruna	Cylindrical	Massalfassar	València
OR1	Borseta	Pyriform	Oriola	Alacant
OR3	Plana	Flattened	Oriola	Alacant
PI1	Valenciana	Heart-shaped	Picanya	València
RE2	Plana	Flattened	Requena	València
VI1	Penjar	Slightly flattened	Vinaròs	Castelló
VS1	Penjar	Flattened	Vistabella	Castelló
XA1	Redona	Rounded	Xàtiva	València



Figure 1. Fruits of the 12 local tomato varieties (AX1 to XA1) from the Valencian Region (Spain) used in the morphological and agronomic characterizations. The varietal type of each of them can be consulted in Table 1. Fruits are not depicted at the same scale; the divisions in the ruler correspond to 1 cm.

2.2. Cultivation conditions

All accessions were grown under three cultivation conditions: i) open field under conventional management (open-field conventional), ii) open field under organic management (open-field organic), and iii) greenhouse under conventional management (greenhouse conventional). Seeds for the conventional cultivation trials were disinfected with a 1:10 w/v solution of dodecahydrate trisodium phosphate ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$) for 3 h and rinsed three times with distilled water for 15 min; subsequently, the seeds were subjected to an additional round of disinfection with commercial bleach (40 g/l of NaOCl) at 30% for 7 min and rinsed three times with distilled water for 7 min. After that, the seeds were left to dry for several weeks on filter paper and then subjected to thermotherapy at 80°C for 24 h. The seeds for the organic cultivation conditions were subjected to the same treatments except that the trisodium phosphate disinfection was not performed. Seedling trays for 96 plants filled with Humin-substrat N3 (Klasmann-Deilmann, Germany) substrate for the conventional cultivation conditions or Natur Pots Premium (Projar) organic substrate for organic conditions were used for sowing the seeds. Seedling trays were kept in a climatic chamber with a 14 h light / 10 h dark photoperiod and a 25°C (light) / 18 °C (dark) temperature regime. For the open-field conventional and organic trials, five plants per accession were grown, while for the greenhouse trial six plants per accession were grown. In all trials plants were transplanted on the 23rd of March of 2014, spaced 1.25 cm among rows and 0.33 m within the row and distributed according to a completely randomized design.

The open-field conventional trial was located in La Pobla de Vallbona (Valencia, Spain; geographical coordinates: 39°34'33" N, 0°33'13" W, 90 m.a.s.l.). A background fertilization of 0.15 kg/m² of fertilizer containing 15% N, 15% P₂O₅, and 15% K₂O (NPK(S) 15-15-15 (20), Fertiberia, Madrid, Spain) was applied before transplant. An additional top-dressing fertilization at a dose of 0.05 kg/m² of the same fertilizer was applied three months after transplant. Flood irrigation was used for watering the plants, which were stacked with canes. Weeds were removed manually. Phytosanitary treatments against spider mites, aphids, caterpillars, and tomato leaf miner were performed using spinosad, emamectin, imidacloprid, and dimethoate. A total of six treatments were performed throughout the crop.

The open-field organic trial was also located in La Pobla de Vallbona (Valencia, Spain; 39°34'34" N, 0°33'16" W, 91 m.a.s.l.) in an organic certified farm with a organic cultivation history of 5 years. Fertilization consisted in the background application of 0.6 kg/m² of horse manure. Irrigation, plant conduction and weeding were performed as for the conventional cultivation system. A single phytosanitary treatment using the insecticide spinosad, which is authorized for organic agriculture, was performed.

The greenhouse conventional trial was located in the campus of Universitat Politècnica de València (Valencia, Spain; GPS coordinates: 39°28'56" N, 0° 20' 16" W, 5 m.a.s.l.). Plants were transplanted to 15 L pots filled with coconut peat (Horticoco, Valimex, Valencia, Spain) and fertilized and watered using a drip irrigation system using pressure compensating emitters. The final concentration of the main anions and cations in the irrigation water was the following: 11.47 mM NO₃⁻, 1.00

mM NH_4^+ , 1.50 mM H_2PO_4^- , 6.75 mM K^+ , 3.25 mM Ca^{2+} , 2.50 mM Mg^{2+} and 2.82 mM SO_4^{2-} . Microminerals were supplied by adding the following salts to the irrigation water: 50 μM H_3BO_3 , 10 μM FeEDTA , 4.5 μM MnCl_2 , 3.8 μM ZnSO_4 , 0.3 μM CuSO_4 and 0.1 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. Excess water was applied in order to avoid salt build up in the pots. Plants were trellised using vertical strings. Phytosanitary treatments against spider mites and whiteflies were performed using the following pesticides: spinosad, emamectin, imidacloprid, and dimethoate. A total of six treatments were performed throughout the crop.

2.3. Characterization

Individual plants were characterized using 36 morphological and agronomic descriptors, of which 31 were IPGRI (1996) descriptors (Table 2), which are commonly used in tomato germplasm characterization trials (Mazzucato et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; de Castro et al., 2010; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2015; Figàs et al., 2015; Parisi et al., 2016). All characterizations were performed jointly by the same characterization team (MF, SS and CC). The five other descriptors corresponded to yield, fruit firmness, and CIELAB fruit colour parameters L^* , h^* , and c^* , which are traits of relevance for tomato breeding (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Figàs et al., 2005a). Twelve traits were quantitative, four meristic, 17 measured in a quantitative scale, and three dichotomous. IPGRI descriptors data were taken according to the instructions and recommendations given in IPGRI (1996). All fruits of each plant were used to determine yield. Fruit firmness and fruit colour were determined in three fruits (with three measures in three different areas

of the mid-part of the fruit separated by 120°) per plant when available using, respectively, a Fruit Pressure Tester FT327 (Effegi, Alfonsine, Italy) with a 8-mm tip probe, and a CR-300 (Minolta, Osaka, Japan) chromameter. Each plant was considered as a replicate; so multiple measurements from a single plant were used to obtain an average of each plant.

Table 2. Descriptors used and the global mean and range of varietal means observed in the three environments evaluated in the 12 local tomato varieties studied. Full details of the Bioversity International descriptors can be consulted elsewhere (IPGRI, 1996).

Descriptors	IPGRI descriptor code	Units/scale	Mean	Range
<i>Plant descriptors</i>				
Plant growth type	7.1.2.1	1=Dwarf; 4=Indeterminate	3.73	2.00-4.00
Foliage density	7.1.2.6	3=Sparse; 7=Dense	5.23	4.00-7.00
Number of leaves under 1st inflorescence	7.1.2.7	---	7.84	5.00-12.50
Leaf attitude	7.1.2.8	3=Semi-erect; 7=Dropping	6.86	6.00-7.00
Leaf type ^a	7.1.2.9	2=Potato leaf; 3=Standard	2.92	2.00-3.00
Yield per plant	---	g	2776	883-6167
<i>Inflorescence descriptors</i>				
Inflorescence type	7.2.1.1.	1=Generally uniparous; 3=Generally multiparous	2.03	1.00-3.00
Number of inflorescences	8.1.4	---	7.70	3.50-24.60
Number of flowers per inflorescence	8.1.5	---	7.22	4.48-11.44
<i>Fruit descriptors</i>				
Exterior colour of immature fruit	7.2.2.1	1=Greenish-white; 9=Very dark green	2.29	1.00-5.00
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	7.2.2.2	0=Absent; 1=Present	0.94	0.00-1.00
Intensity of greenback (shoulder)	7.2.2.3	3=Slight; 7=Strong	4.51	0.00-7.00
Fruit size	7.2.2.6	1=Very small; 5=Very large	3.43	2.00-5.00
Fruit size homogeneity	7.2.2.7	3=Low; 7=High	5.21	2.00-7.00
Fruit weight	7.2.2.8	g	165.8	62.2-446.9
Fruit length	7.2.2.9	mm	60.8	40.7-94.6
Fruit width	7.2.2.10	mm	72.0	46.0-116.4

Descriptors	IPGRI descriptor code	Units/scale	Mean	Range
Fruit shoulder shape	7.2.2.16	1=Flat; 7=Strongly depressed	3.39	1.00-7.00
Width of pedicel scar	7.2.2.20	mm	10.7	5.7-19.6
Size of corky area around pedicel scar	7.2.2.21	mm	3.60	0.88-10.10
Skin colour of ripe fruit	7.2.2.23	1=Colourless; 2=Yellow	1.75	1.00-2.00
Thickness of pericarp	7.2.2.25	mm	7.42	5.10-9.90
Flesh colour intensity	7.2.2.27	3=Light; 7=Dark	5.78	4.00-7.00
Colour (intensity) of core	7.2.2.28	1=Green; 7=Dark	4.74	2.00-7.00
Fruit cross-sectional shape	7.2.2.29	1=Round; 3=Irregular	1.62	1.00-3.00
Size of core	7.2.2.30	cm	3.62	1.43-7.31
Number of locules	7.2.2.31	---	6.54	2.00-19.60
Fruit blossom end shape	7.2.2.33	1=Indented; 3=Pointed	1.63	1.00-3.00
Radial cracking	8.2.3	1=Corky lines; 7=Severe	2.83	0.00-7.00
Concentric cracking	8.2.4	1=Corky lines; 7=Severe	1.24	0.00-5.00
Fruit fasciation	8.2.5	3=Slight; 7=Severe	2.31	0.00-7.00
Puffiness appearance	8.2.9	3=Slight; 7=Severe	1.19	0.00-6.00
Fruit firmness	---	kg/cm ²	1.90	1.29-2.84
Exterior fruit colour lightness (L*)	---	0=black; 100=white	36.3	29.5-46.9
Exterior fruit colour hue (h*)	---	0°=red; 90°=yellow; 180°=green; 270°=blue	36.7	25.7-56.0
Exterior fruit colour chroma (c*)	---	0=completely unsaturated; 100=fully saturated	26.0	16.1-35.4

^a Qualitative descriptor potentially polytomous, but which has been found to be dichotomous in the collection

2.4. Data analyses

Individual plant data were used to calculate the mean value for each accession in each of the environments. Average data of accessions in each environment were used to calculate the global mean and range for each of the descriptors. Individual plant data were subjected to a two factorial analysis of variance (ANOVA) to test the effects of accession and cultivation environment, their interaction and the residual effects (Little and Hills, 1978). The total sums of squares was partitioned in the sums of squares for accession, environment, accession \times environment, and residual effects, and expressed in percentage over the total sums of squares. Broad sense heritability (H^2) was calculated according to Wricke and Weber (1986) using the formula $H^2 = \sigma_G^2 / [\sigma_G^2 + \sigma_{GE}^2/e + \sigma_E^2/(r \times e)]$, where σ_G^2 is the genetic variance, σ_{GE}^2 is the genotype \times environment interaction, σ_E^2 is the residual (error) variance, e is the number of environments ($e=3$), and r is the average number of replicates per environment ($r=[5+5+6]/3$) (Wricke and Weber, 1986). Differences among environments for each descriptor were assessed using a Student-Newman-Keuls multiple range test at a significance level of $P < 0.05$. Pairwise Euclidean distances among the three cultivation environments were calculated for each accession using standardized data ($\mu=0$; $\sigma=1$) for each descriptor. These pairwise Euclidean distances were also used for a multivariate principal components analysis (PCA).

3. Results

3.1. Descriptors range of variation

None of the 36 descriptors assessed was uniform in the data from 12 accessions evaluated in three environments (Table 2). In general, for quantitative and meristic traits, wide ranges of variation were found. For example, differences of over 11-fold were found for Size of corky area around pedicel scar, of almost 10-fold for Number of locules, and of around seven-fold for Yield per plant, Number of flowers per inflorescence, and Fruit weight (Table 2). In other traits, the differences were smaller in relative terms, but also reflected a wide variation in the collection of accessions grown in three environments. For traits measured in a quantitative scale, in some cases like Inflorescence type, Intensity of greenback (shoulder), Fruit size homogeneity, Fruit shoulder shape, Fruit cross-sectional shape, Fruit blossom end shape, Radial cracking, and Fruit fasciation, the full scale range as given in the IPGRI (1996) descriptors for tomato was represented (Table 2). However, in other cases, the range variation observed for quantitative scale traits was reduced, like for Leaf attitude (only values of 6 and 7 for a scale from 3 to 7), or for Exterior colour of immature fruit (with values from 1 to 5 for a scale from 1 to 9). For the three dichotomous traits, variation was found in the collection, although most of the accessions presented one of the descriptor states (e.g. “standard” for Leaf type, “present” for Presence of green (shoulder) trips on the fruit, and “yellow” for the skin colour of ripe fruit) (Table 2).

3.2. Structure of descriptors variation

The decomposition of the sums of squares from the ANOVA analyses revealed that the accession effect was highly significant ($P < 0.001$) for the 36 descriptors evaluated (Table 3). The percentage of sums of squares for accession varied between 10.83% for Yield per plant and 100.00% for Leaf type and Skin colour for ripe fruit. The accession effect was the largest contributor to the sums of squares for 31 out of the 36 traits evaluated, the exception being for Leaf attitude, Leaf type, Yield per plant, and Number of inflorescences. For 26 traits, the contribution of accession to the sum of squares was higher than 50% (Table 3). The environment effect was low for most traits, with 27 traits out of the 36 evaluated with a contribution below 10% to the total sums of squares. The largest values were observed for Yield per plant (68.34%), which was the only trait for which the environment effect was the largest contributor to the sums of squares, and for Concentric cracking (27.71%) (Table 3). The contribution of the accession \times environment interaction to the total sums of squares was generally higher than that of environment. The only traits for which the environment effect had a larger contribution than accession \times environment interaction to the total sums of squares were Yield per plant and Number of flowers per inflorescence. The accession \times environment interaction effect was the greatest contributor to the total sums of squares for three traits (Leaf attitude, Number of inflorescences, and Flesh colour intensity) (Table 3). The residual effect contribution to the sums of squares was variable, ranging from 0.00% for Leaf attitude, Leaf type, Presence of green (shoulder) trips on the fruit, Skin colour of ripe fruit, and Puffiness appearance, to 39.47% for Number of leaves under 1st inflorescence. The

residual effect was not the greatest contributor to the total sums of squares for any of the descriptors (Table 3).

Heritability (H^2) values ranged between 0.14 for Leaf attitude to 1.00 for Leaf type and Skin colour of ripe fruit (Table 3). For 10 traits out of 36, the H^2 values were higher than 0.7, for 21 descriptors the H^2 values ranged between 0.3 and 0.7, and for five descriptors the H^2 values were below 0.3. The traits with larger H^2 values included Leaf type, some fruit size and shape descriptors (Fruit weight, Fruit length, Fruit width, Size of corky area around pedicel scar, Size of core, Number of locules, and Fruit fasciation), and Skin colour of ripe fruit. The lowest values for H^2 were for Leaf attitude, Yield per plant, Number of inflorescences, Exterior colour of immature fruit, and Puffiness appearance (Table 3).

Table 3. Percentage of the total sums of squares for the effects of accessions, environment, interaction between accession and environment and residuals for the descriptors evaluated in 12 tomato accessions grown in three environments.

Descriptors	Sums of squares (%)				Heritability (H^2)
	Accession	Environment	Accession \times Environment	Residual	
Plant growth type	64.19***	1.97***	12.94***	15.15	0.57
Foliage density	59.69***	17.79***	19.98***	2.53	0.61
Number of leaves under 1st inflorescence	48.43***	5.22***	6.87 ^{ns}	39.47	0.49
Leaf attitude	35.33***	17.60***	47.07***	0.00	0.14
Leaf type	100.00***	0.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00	1.00
Yield per plant	10.83***	68.34***	6.45***	14.38	0.25
Inflorescence type	67.78***	2.44***	10.62***	19.17	0.65
Number of inflorescences	36.50***	4.61***	40.79***	18.09	0.17
Number of flowers per inflorescence	50.16***	14.63***	7.92**	27.29	0.56
Exterior colour of immature fruit	49.96***	0.41***	48.74***	0.88	0.26
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	65.31***	2.89***	31.80***	0.00	0.51
Intensity of greenback (shoulder)	56.89***	17.98***	24.86***	0.27	0.54
Fruit size	76.90***	3.25***	18.64***	1.21	0.70
Fruit size homogeneity	66.27***	5.72***	27.58***	0.44	0.56
Fruit weight	71.37***	10.80***	12.38***	5.45	0.73
Fruit length	80.89***	4.42***	7.37***	7.32	0.81
Fruit width	83.56***	1.64***	5.66***	9.14	0.83
Fruit shoulder shape	85.03***	2.08***	12.38***	0.51	0.81
Width of pedicel scar	54.25***	5.68***	9.04**	31.02	0.54
Size of corky area around pedicel scar	76.83***	1.47***	9.53***	12.18	0.74

Descriptors	Sums of squares (%)				Heritability (H^2)
	Accession	Environment	Accession × Environment	Residual	
Skin colour of ripe fruit	100.00***	0.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00	1.00
Thickness of pericarp	52.97***	6.36***	14.80***	25.88	0.50
Flesh colour intensity	31.42***	5.26***	63.32***	0.00	0.00
Colour (intensity) of core	66.36***	1.40***	31.71***	0.53	0.51
Fruit cross-sectional shape	78.55***	0.24***	19.82***	1.38	0.69
Size of core	82.47***	1.02***	9.17***	7.33	0.79
Number of locules	92.68***	0.08 ^{ns}	1.74***	5.50	0.92
Fruit blossom end shape	74.59***	1.33***	15.18***	8.91	0.68
Radial cracking	51.27***	10.99***	37.38***	0.36	0.37
Concentric cracking	38.41***	27.71***	33.51***	0.36	0.30
Fruit fasciation	88.49***	1.31***	10.13***	0.07	0.85
Puffiness appearance	50.22***	0.04***	49.73***	0.00	0.24
Fruit firmness	46.69***	2.75**	19.33***	31.23	0.39
Exterior fruit colour lightness (L^*)	44.35***	10.21***	23.26***	22.17	0.37
Exterior fruit colour hue (h^*)	65.69***	7.21***	10.69***	16.42	0.66
Exterior fruit colour chroma (c^*)	59.12***	3.68***	12.93***	24.27	0.56

3.3. Differences among environments

Significant differences ($P < 0.05$) among average values in each environment were observed for all descriptors, except for Leaf type, Skin colour of ripe fruit, and Number of locules (Table 4). Plants from the open-field conventional environment were characterized by higher yield and number of flowers per inflorescence, greater fruit size homogeneity, larger values for several descriptors related to fruit size, more intensely coloured fruits, and fruits with higher degree of fasciation and puffiness, as well as less bifurcated inflorescences and less firm fruits than those of the open field-organic or greenhouse environments (Table 4). Those from the open-field organic environment had plants with smaller size, more erect leaves, less number of flowers per inflorescence, with a greater proportion and intensity of green shoulder, less fruit size homogeneity, thinner pericarp, less fruit colour intensity, more pointed fruits, and with higher cracking incidence than those of open-field organic or greenhouse cultivation. Finally, plants from the greenhouse environment had a higher vegetative development with dropping leaves, immature fruits less green, and with less intensity of greenback in the shoulder, smaller fruits, with less cracking and fasciation, and with lower fruit colour lightness than those of open-field cultivation (Table 4).

Table 4. Values averaged over 12 tomato accessions for each descriptor in the three environments evaluated and significance of differences.

Descriptors	Open field conventional	Open field organic	Greenhouse
Plant growth type ^a	3.75 b	3.61 a	3.82 b
Foliage density	5.33 b	4.83 a	5.53 c
Number of leaves under 1st inflorescence	7.25 a	7.73 a	8.53 b
Leaf attitude	6.92 b	6.67 a	7.00 c
Leaf type ^a	2.92 a	2.92 a	2.92 a
Yield per plant	4717 b	1890 a	1721 a
Inflorescence type	1.87 a	2.15 b	2.08 b
Number of inflorescences	8.73 b	7.42 a	6.96 a
Number of flowers per inflorescence	7.67 b	6.04 a	7.95 b
Exterior colour of immature fruit	2.33 b	2.33 b	2.21 a
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	0.92 a	1.00 b	0.92 a
Intensity of greenback (shoulder)	4.25 b	5.50 c	3.79 a
Fruit size	3.50 b	3.53 c	3.25 a
Fruit size homogeneity	5.58 c	4.87 a	5.17 b
Fruit weight	188.9 b	187.0 b	121.5 a
Fruit length	6.48 c	5.96 b	5.81 a
Fruit width	7.53 b	7.08 a	6.98 a
Fruit shoulder shape	3.75 c	3.17 a	3.25 b
Width of pedicel scar	1.16 b	1.08 b	0.95 a
Size of corky area around pedicel scar	0.40 c	0.32 a	0.36 b
Skin colour of ripe fruit	1.75 a	1.75 a	1.75 a
Thickness of pericarp	0.77 b	0.69 a	0.76 b
Flesh colour intensity	5.50 a	5.92 b	5.92 b
Colour (intensity) of core	5.00 c	4.47 a	4.75 b
Fruit cross-sectional shape	1.58 a	1.67 c	1.62 b
Size of core	3.79 c	3.64 b	3.45 a
Number of locules	6.56 a	6.69 a	6.36 a
Fruit blossom end shape	1.58 a	1.75 b	1.56 a
Radial cracking	2.75 b	3.80 c	1.94 a
Concentric cracking	1.43 b	2.20 c	0.08 a
Fruit fasciation	2.58 c	2.42 b	1.93 a
Puffiness appearance	1.25 b	1.17 a	1.17 a
Fruit firmness	1.80 a	1.93 b	1.96 b
Exterior fruit colour lightness (L*)	37.64 c	36.21 b	34.92 a
Exterior fruit colour hue (h*)	40.08 b	34.74 a	35.35 a
Exterior fruit colour chroma (c*)	27.40 b	25.39 a	25.22 a

^aMeans within rows separated by different letters are significantly different at $P < 0.05$, according to the Student-Newman-Keuls test.

When considering all descriptors together, the three environments were almost equidistant, with pairwise Euclidean differences averaged over the 12 varieties among them not being significantly different for the three possible comparisons (Table 5). However, the accessions evaluated had a different performance, with highest values for accession MA2 (Pruna type) with an average value of 8.01 for Euclidean distances among environments, while for one accession of the Cor type (DA2) and two Penjar accessions (VI1 and VS1) the average Euclidean distances among environments were much smaller, below 5. When considering specific pairwise comparisons in individual accessions, the range of Euclidean distances among environments varies between 3.56 for VS1 for the open-field conventional vs. greenhouse environments comparison, and 8.81 for MA2 for the open-field conventional and open field-organic environments comparison. Also, for five accessions (AX2, DA2, MA2, RE2, and XA1) the largest environmental distances were found between open-field conventional and open-field organic environments, for two accessions (PI1 and VS1) were between open-field conventional and greenhouse environments, while for six accessions were between open-field organic and greenhouse environments (Table 5).

Table 5. Pairwise Euclidean distances among three cultivation environments (open field conventional, open field organic, and greenhouse) for 12 tomato accessions based on normalized data of 36 characterization descriptors.

Accessions	Open field conventional vs. Open field organic	Open field conventional vs. Greenhouse	Open field organic vs. Greenhouse	Average
AX1	4.61	4.90	6.04	5.18
AX2	6.70	4.62	5.33	5.55
DA2	5.06	4.52	4.00	4.53
FU1	4.98	6.10	6.47	5.85
MA2	8.81	7.57	7.65	8.01
OR1	4.96	6.19	6.37	5.84
OR2	5.80	5.80	6.14	5.91
PI1	5.30	5.67	4.87	5.28
RE2	6.05	5.30	4.60	5.32
VI1	4.82	4.77	5.29	4.96
VS1	5.52	3.56	5.67	4.92
XA1	7.09	5.53	4.96	5.86
Average±SE	5.81±0.34	5.38±0.28	5.62±0.27	5.60±0.24

3.4. Principal components analysis

The first and second components of the PCA made with 36 descriptors evaluated accounted for 30.21% and 14.06%, respectively, of the total variance (Table 6). The first principal component was positively correlated to descriptors related to divided inflorescences (Inflorescence type), multiple fruit size and weight descriptors, large pedicel scars and corky area around them, intensely coloured fruits, irregular cross section (Fruit cross-sectional shape, Fasciation and Number of locules), Size of core and Radial cracking, and negatively to Fruit size homogeneity, Thickness of pericarp and Fruit firmness (Table 6). The second principal component was positively correlated to Foliage density, dropping (Leaf attitude) and standard (Leaf type) leaves, number of inflorescences, Fruit size and Fruit length, yellow colour of ripe fruit (Skin colour of ripe fruit), and Exterior fruit chroma value (c^*), and negatively with indeterminate growth (Plant growth type), Number of leaves under 1st inflorescence, Number of flowers per inflorescence, Presence of green (shoulder) trips on the fruit, and Exterior fruit colour lightness (L^*) and hue (h^*).

Table 6. Correlation coefficients between tomato descriptors for plant, inflorescence and fruit of 12 accessions grown in three environments and the two first principal components of a multivariate principal components analysis. Correlations with absolute values above 0.150 are represented in bold font.

Descriptor	First principal	Second principal
Plant growth type	0.089	-0.335
Foliage density	-0.039	0.193
Number of leaves under 1st inflorescence	-0.023	-0.271
Leaf attitude	0.116	-0.157
Leaf type ^a	0.060	0.155
Yield per plant	0.083	0.054
Inflorescence type	0.218	-0.082
Number of inflorescences	-0.122	0.213
Number of flowers per inflorescence	0.014	-0.217
Exterior colour of immature fruit	-0.076	-0.056
Presence of green (shoulder) trips on the	0.116	-0.251
Intensity of greenback (shoulder)	0.104	-0.147
Fruit size	0.224	0.183
Fruit size homogeneity	-0.178	-0.081
Fruit weight	0.270	0.094
Fruit length	0.018	0.372
Fruit width	0.292	0.008
Fruit shoulder shape	0.272	-0.019
Width of pedicel scar	0.264	0.001
Size of corky area around pedicel scar	0.267	0.075
Skin colour of ripe fruit	-0.050	0.188
Thickness of pericarp	-0.171	-0.040
Flesh colour intensity	0.091	0.145
Colour (intensity) of core	0.181	0.141
Fruit cross-sectional shape	0.191	-0.121
Size of core	0.275	-0.014
Number of locules	0.288	0.077
Fruit blossom end shape	-0.070	0.146
Radial cracking	0.164	-0.044
Concentric cracking	-0.010	-0.104
Fruit fasciation	0.212	-0.103
Puffiness appearance	-0.078	-0.018
Fruit firmness	-0.203	0.059
Exterior fruit colour lightness (L*)	-0.104	-0.168
Exterior fruit colour hue (h*)	-0.115	-0.265
Exterior fruit colour chroma (c*)	-0.040	0.317
Eigenvalue	10.88	5.06
Variance explained (%)	30.21	14.06

The projection of accessions grown in each of the environments in the PCA plot reveals that the different cultivar groups plot in separated areas of the graph, with the exception of Cor and Redona groups, which cluster together (Figure 2). The first component separates accessions of the Plana (large and fasciated fruits) and Valenciana type (large fruits), which generally present positive values for this first component from those of the Pruna, Penjar and Borseta types, which have negative values. The second component separates the Pruna, Cor, Redona, Valenciana and Borseta types, which have positive values from the Penjar type, which displays negative values (Figure 2). Accessions grown in the three different environments group together, and generally are separated from the other accessions, with the exception of accessions DA2 (Cor type) and XA1 (Redona type) on one side, and accessions AX1, VI1, and VS1 (Penjar type) on the other, which are intermingled (Figure 2). Accessions of the Plana type are separated in the first component, with FU1, RE2 and OR3 having highest, intermediate and lower values, respectively. The AX2 (Penjar) accession is characterized by having a combination of lower values for the first component and higher ones for the second component than the rest of Penjar accessions (Figure 2).

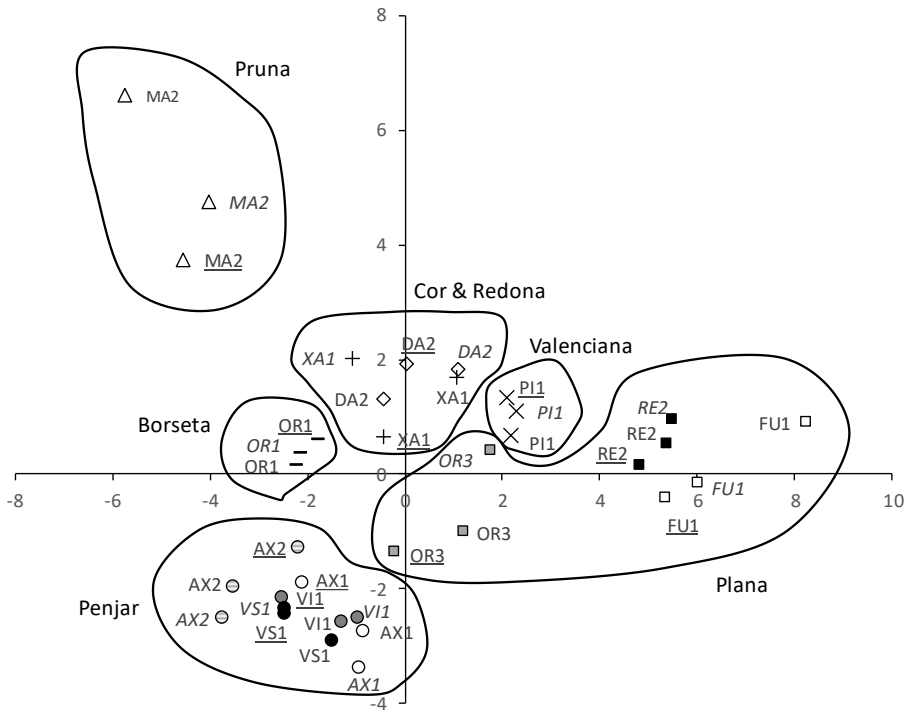


Figure 2. First (x-axis) and second (y axis) principal components scatterplot, based on 36 morphological and agronomic descriptors, of 12 tomato accessions grown under three environments. The first and second principal components account for 30.21% and 14.06% of the total variation. Each variety is indicated by its code (AX1 to XA1) and by the varietal type: Borseta (horizontal lines), Cor (diamonds), Penjar (circles), Plana (squares), Pruna (triangles), Redona (plus signs), and Valenciana (multiplication signs). The three cultivation conditions are indicated by the font type: open-field conventional (normal font), open-field organic (italics font), or greenhouse (underlined) cultivation conditions. Lines encompass the accessions included in each cultivar group.

4. Discussion

Our work is the first, to our knowledge, to evaluate the stability of tomato descriptors in characterization trials from different cultivation environments. Amazingly, despite the importance of characterization data for breeding and germplasm management (Engels and Visser, 2002; Ortiz Ríos, 2015), there is little information on the stability of tomato descriptors and the influence this may have in comparison of data sets from different trials and environments.

We have found that the morphological and agronomic descriptors used, most of them corresponding to the Bioversity International descriptors list for tomato (IPGRI, 1996), are useful to describe the variation existing in a collection of tomato local varieties, with wide ranges of variation having being observed, as occurred in other works (Mazzucato et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; de Castro et al., 2010; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2015; Figàs et al., 2015; Parisi et al., 2016). This again confirms the utility of these descriptors for providing a description for relevant traits in tomato, as well as for comparing varieties and cultivar groups from a single trial. In our case, we have compared data from three different cultivation environments in three different sites. In order to evaluate the descriptors in different environments, we included open-field conventional, open-field organic and greenhouse cultivation conditions.

Ideally, descriptors should have high heritability and, in consequence, the cultivation environment and genotype \times environment interaction should have a low influence in the expression of the trait scored (Ortiz Ríos, 2015). This would allow direct comparisons among

characterization data sets. However, the comparison of the scores of the same descriptors in three characterization trials revealed that wide differences exist among descriptors for the effects of environment and genotype \times environment. This is in agreement with some previous evidence (Rao et al., 2006; Mazzucato et al., 2008). These latter authors reported significant genotype \times environment interaction for morphological descriptors in the characterization of specific sets of local tomato varieties in different environments. However, these studies do not provide information on the relative contribution of the environment or genotype \times environment interaction to the variation of descriptors (Rao et al., 2006; Mazzucato et al., 2008). In our work, we have found large differences among individual descriptors in the contribution of the accession, environment, or genotype \times environment interaction effects. In this respect, descriptors for some monogenic traits, like Leaf type, controlled by gene *C* (Busch et al., 2011), or Skin colour, controlled by gene *Y* (Ballester et al., 2010), are not influenced by the environment and display no genotype \times environment interaction and therefore have a heritability of 1. Other traits that had relatively high values for heritability were those related to fruit shape. In tomato, it is known that the expression of fruit shape traits has a high degree of genetic determination (Gonzalo and van der Knaap, 2008, Rodríguez et al., 2011). On the other side, other descriptors, for important traits, like yield per plant, had high environmental influence and genotype \times environment interaction, as well as differences among plants within a trial, and therefore have a low heritability. This is in agreement with other works (Avdikos et al., 2011; El-Gabry et al., 2014), that reveal that yield, being a complex trait affected by multiple genetic factors affected by the environment generally has a

low heritability. Remarkably, few descriptors had high heritability values, with only 10 out of the 36 descriptors having a heritability value above 0.7. This is in contrast with the recommendation that descriptors for germplasm characterization should have high heritability (Ortiz Ríos, 2015). It also suggests that comparisons of data sets corresponding to different trials, in particular, when environmental conditions are very dissimilar should be made with caution, unless only descriptors with high heritability or low genotype \times environment contribution to the observed variation are used. In this respect, the fact that for most descriptors the contribution of the genotype \times environment effect is larger than that of the environment indicates that the use of controls or environmental indexes to remove the environmental effect may only partially contribute to make data comparable (Wricke and Weber, 1986; Becker and León, 1988).

The three cultivation systems that we have evaluated presented many differences in the crop management (Martínez-Blanco et al., 2011; van Bueren et al., 2011; de Ponti et al., 2012). This has resulted in many significant differences among environments for the traits evaluated. In particular, average yield has been much higher in the open-field conventional environment than in the open-field organic or greenhouse environments, probably reflecting the reduced input of fertilizers in the organic field and the poor performance of many local tomato varieties in greenhouse (Bettiol et al., 2004; Jones, 2007; Kläring and Krumbein, 2013). The higher incidence of fruit cracking in the open-field organic than in the open-field conventional conditions suggests that there has been higher fluctuation of soil water content in the soil and/or deficiencies of calcium or boron that, apart from increasing cracking may have contributed to reduce yield (Pascual et al., 2000; Liebisch et al., 2009). The

differences among environments for each accession have also been studied using pairwise Euclidean distances among the standardized values for the 36 descriptors. While the three environments were approximately equidistant when considering the average values across all varieties, considerable differences have been observed among varieties, both in the average value and the environmental distances among pairs of environments. In this respect, some varieties were more stable than others, and consequently had lower differences for characterization data among environments. Others, on the contrary displayed much higher differences among environments, reflecting a lower stability. Important differences in stability for several traits have been observed in tomato (Ortiz and Izquierdo, 1994). This has implications when choosing controls for comparison of environments, as depending on the variety or varieties chosen, the estimation of the environmental effect may be variable (Annicchiarico, 2002).

Despite wide differences among individual descriptors for the contribution of the environment and genotype \times environment effects to their variation, the multivariate principal component analysis (PCA) shows that observations of a single accession grown in different environments plot in the same area of the PCA graph. This indicates that IPGRI (1996) descriptors, despite the fact that some of them have low heritability, when analyzed together provide a reliable characterization. As found in other works (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Figàs et al., 2015), the IPGRI (1996) morphological descriptors allow a clear separation among tomato cultivar groups. However, the PCA analysis also reveals that for accessions of the same cultivar group, some of the accessions are intermingled, and therefore the comparison of characterization data of different accessions

of the same cultivar group evaluated in different environments could lead to misleading results about the relationships among them. This has important implications for detecting duplicates and creating nuclear collections in germplasm banks (Dwivedi et al., 2005; Diederichsen, 2009), as a genetically uniform accession evaluated in one environment when compared to itself and other accessions of the same cultivar group grown in another environment may plot closer to other accessions. Similarly, different accessions evaluated in different environment can plot together in a PCA analysis.

5. Conclusions

In conclusion, our work confirms that morphological and agronomic descriptors commonly used for characterization of tomato, like those of IPGRI (1996), are suited for providing a detailed description of germplasm accessions or other plant materials. This makes them of great utility for evaluating diversity, to study relationships among accessions, and to assign them to cultivar groups. However, many descriptors, when compared over dissimilar environments, have low or moderate heritability. This, coupled with large genotype \times environment interaction effects indicates that comparison of tomato characterization data sets that include accessions that have not been grown in the same trial should be made with caution, even when controls are used to remove the environmental effect. Nonetheless, multivariate principal components analysis using data coming from different environments have proved useful for a reliable separation of accessions according to cultivar group. All this information

has important implications for tomato germplasm conservation and management as well as for breeding.

Acknowledgements

This work has been partially funded by the TRADITOM (Traditional tomato varieties and cultural practices: a case for agricultural diversification with impact on food security and health of European population) and G2P-SOL (Linking genetic resources, genomes and phenotypes of Solanaceous crops) projects. These projects have received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreements No 634561 (TRADITOM) and No 677379. Authors are grateful to Mr. Jonatan Cerdán for his technical help.

References

- Adalid, A.M., Roselló, S., Valcárcel, M., Nuez, F. (2012). Analysis of the genetic control of β -carotene and L-ascorbic acid accumulation in an orange-brownish wild cherry tomato accession. *Euphytica* 184:251-263.
- Annicchiarico. (2002). Genotype \times environment interactions – challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Avdikos, I.D., Tsivelika, N., Gallidou, A., Koutsika-Sotirou, M. (2011). Exploitation of heterosis in tomato recurrent selection programme applied in segregating generations of a tomato breeding program. *Sci. Hort.* 130:701-707.
- Ballester, A.R., Molthoff, J., de Vos, R., Hekkert, B.L., Orzaez, D., Fernández-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 Physiol.* 152:71-84.
- Becker, H.C., León, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101:1-23.
- Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H., Siloto, R.C. (2004). Organic and conventional tomato cropping systems. *Sci. Agric.* 61:253-259.
- Bioversity International (2017). Crop descriptors and derived standards. <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/descriptors/>
- Busch, B.L., Schmitz, G., Rossmann, S., Piron, F., Ding, J., Bendahmane, A., Theres, K. (2011). Shoot branching and leaf dissection in tomato are regulated by homologous gene modules. *Plant Cell* 23:3595-3609.
- 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. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59: 219-229.
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Valcárcel, M., Serrano, E., Beltrán, J., Nuez, F. (2011). Evaluation of genotype and environment effects on taste and aroma components of Spanish fresh tomato varieties. *J. Agric. Food Chem.* 59:2440-2450.
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Sci. Hort.* 162:150-164.
- Cortés-Olmos, J., Vilanova, S., Pascual, L., Roselló, S., Cebolla-Cornejo, J. (2015). SNP markers applied to the characterization of Spanish tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci. Hort.* 194:100-110.
- de Castro, J.P.A., Nick, C., Milagres, C.C., Mattedi, A.P., Marim, B.G., da Silva, D.J.H. (2010). Genetic diversity among tomato's subsamples for pre-breeding. *Crop Breed. Appl. Biotech.* 10:74-82.
- de Ponti, T., Rijk, B., van Ittersum, M.K., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agr. Syst.* 108:1-9.

- Diederichsen, A. (2009). Duplication assessments in Nordic *Avena sativa* accessions at the Canadian national genebank. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56: 587-597.
- Dwivedi, S., Upadhyaya, H.D., Hedge, D.M. (2005). Development of core collection using geographic information and morphological descriptors in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm. *Genet. Resour. Crop Evol.* 52: 821-830.
- El-Gabry, M.A.H., Solieman, T.I.H., Abido, A.I.A. (2014). Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Sci. Hort.* 167:153-157.
- Engels, J., Visser, B. (2002). Genebank management procedures. In: Engels, J.M.M., Visser, L. (eds) A guide to effective management of germplasm collections. IPGRI Handbooks for genebanks No. 6. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, pp. 60-79.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández-de-Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62:189-204.
- Gonçalves, L.S.A., Rodrigues, R., Júnior, A.T.A., Karasawa, M., Sudré, C.P. (2009). Heirloom tomato gene bank: assessing genetic divergence based on morphological, agronomic and molecular data using a Ward-modified location model. *Genet. Mol. Res.* 8:364-374.
- Gonzalo, M.J., van der Knaap, E. (2008). A comparative analysis into the genetic bases of morphology in tomato varieties exhibiting long shape. *Theor. Appl. Genet.* 116: 647-656.
- Gotor, E., Alercia, A., Rao, V.R., Watts, J., Caracciolo, F. (2008). The scientific information activity of Bioversity International: the descriptors lists. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55: 757-772.
- Grum, M., Atieno, F. (2007). Statistical analysis for plant genetic resources: clustering and indices in R made simple. IPGRI Handbooks for genebanks No. 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

- IPGRI. (1996). Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Jones, J.B. (2007). Tomato plant culture – in the field, greenhouse and home garden. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Kläring, H.P., Krumbein, A. (2013). The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. *J. Agron. Crop Sci.* 199:351-359.
- Liebisch, F., Max, J.F.J., Heine, G., Horst, W.J. (2009). Blossom-end rot and fruit cracking of tomato grown in net-covered greenhouses in Central Thailand can partly be corrected by calcium and boron sprays. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:140-150.
- Little, T.M., Hills, F.J. (1978). Agricultural experimentation: design and analysis. Wiley, New York, NY.
- Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., Antón, A., Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *J. Cleaner Prod.* 19:985-987.
- Mazzucato, A., Papa, R., Bitocchi, E., Mosconi, P., Nanni, L., Negri, V., Picarella M.E., Siligato, F., Soressi, G.P., Tiranti, B., Veronesi, F. (2008). Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theor. Appl. Genet.* 116:657-669.
- Panthee, D.R., Cao, C., Debenport, S.J., Rodríguez, G.R., Labate, J.A., Robertson, L.D., Breksa, A.P., van der Knaap, E., Gardener B.B.M. (2012). Magnitude of genotype × environment interactions affecting tomato fruit quality. *HortScience* 47: 721-726.
- Panthee, D.R., Labate, J.A., McGrath, M.T., Breksa A.P., Robertson, L.D. (2013). Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica* 193:169-182.
- Pascual, B., Maroto, J.V., Sanbautista, A., López-Galarza, S., Alagarda, J. (2000). Influence of watering on the yield and cracking of cherry, fresh-market and processing tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75:171-175.

- Ortiz, R., Crossa, J., Vargas, M., Izquierdo, J. (2007). Studying the effect of environmental variables on the genotype \times environment interaction of tomato. *Euphytica* 153:119-134.
- Ortiz, R., Izquierdo, J. (1994). Yield stability differences among tomato genotypes grown in Latin America and the Caribbean. *HortScience* 29:1175-1177.
- Ortiz Ríos, R. (2015). Plant genetic resources for food and agriculture. In: Ortiz Ríos, R. (ed) *Plant breeding in the omics era*. Springer, New York, pp. 19-39.
- Parisi, M., Aversano, R., Graziani, G., Ruggieri, V., Senape, V., Sigillo, L., Barone, A. (2016). Phenotypic and molecular diversity in a collection of ‘Pomodoro di Sorrento’ Italian tomato landrace. *Sci. Hort.* 203:143-151.
- Rao, R., Corrado, G., Bianchi, M., Di Mauro, A. (2006). (GATA)₄ DNA fingerprinting identifies morphologically characterized ‘San Marzano’ tomato plants. *Plant Breed.* 125:173-176.
- Robertson, L.D., Labate, J.A. (2006). Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. In: Razdan, M.K., Mattoo, A.K. (eds) *Genetic improvement of solanaceous crops. Volume 2: Tomato*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 25-75.
- Rodríguez, G.R., Muñoz, S., Anderson, C., Sim, S.C., Michel, A., Causse, M., McSpadden Gardener, B.B., 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 Physiol.* 156:275-285.
- Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Roselló, S., Nuez, F. (2005). “Heirloom” varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80: 453-460.
- UPOV. (2017). Test guidelines.
http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg_index.htm
- van Bueren, E.T.L., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.V., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and

broccoli as examples: A review. NJAS-Wageningen J. Life Sci. 58:193-205.

van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance – A review. Field Crops Res. 143:4-17.

Wricke, G., Weber, W.E. (1986). Quantitative genetics and selection in plant breeding. Walter de Gruyter, Berl

**EVALUACIÓN DEL EFECTO GXE EN
VARIEDADES TRADICIONALES DE
TOMATE.**

Insights into the adaptation to greenhouse cultivation of the traditional Mediterranean long shelf-life tomato carrying the *alc* mutation: A multi-trait comparison of landraces, selections and hybrids in open field and greenhouse

Maria R. Figàs, Jaime Prohens, María D. Raigón, Leandro Pereira, Cristina Casanova, María D. García-Martínez, Elena Rosa, Elena Soler, Mariola Plazas and Salvador Soler

Institut de Conservació i Millora de l'Agrodiversitat Valenciana, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera 14, 46022 València, Spain

Cita: Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Pereira, L., Casanova, C., García-Martínez, M.D., Rosa, E., Soler, E., Plazas, M., Soler, S. (2018). Insights into the adaptation to greenhouse cultivation of the traditional Mediterranean long shelf-life tomato carrying the *alc* mutation: A multi-trait comparison of landraces, selections and hybrids in open field and greenhouse. Submitted to *Frontiers in Plant Science*.

Long shelf-life tomato (*Solanum lycopersicum*) landraces, characterized by carrying the *alc* allele in the NOR.NAC locus, have been traditionally grown in the Mediterranean region. These materials have evolved and are adapted to open field conditions under low input conditions. However, cultivation under greenhouse is expanding fueled by increasing demand. We hypothesize that the large diversity in the long shelf-life landraces and derived materials can be exploited for adaptation to these new cultivation conditions. We have evaluated 12 varieties (seven landraces, three selections and two hybrids) carrying the *alc* mutation under open field (OF) and greenhouse (GH) cultivation, and evaluated them for 52 morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors. All descriptors, except six morphological ones, were variable. The variety effect was the greatest contributor to variation for most morphological traits, as well as for fruit weight, fruit shape, dry matter, and soluble solids content. However, significant environmental and genotype \times environment interaction were found for 36 and 42 descriptors, respectively. Fruits from GH plants had lower weight and firmness and were less red than those from OF, while yield in GH was 35% lower on average and daily fruit loss in postharvest 41% higher than in OF. However, fruits from GH had on average slightly higher dry matter and soluble solids contents, antioxidant activity, glucose, fructose, and ascorbic acid concentrations, as well as lower contents in lycopene and β -carotene than those from OF. A principal components analysis clearly separated varieties according to the cultivation environment, although the distribution pattern of varieties within each of the two clusters (GH and OF), despite the strong G \times E interaction for many descriptors, was similar.

Also, materials from the same origin plotted in the same area of each cluster, and selections and hybrids plotted together with the landraces. The results reveal a high impact of the cultivation environment on morphological, agronomic, chemical properties and chemical composition of Mediterranean long shelf-life traditional tomato varieties, and suggest that breeding programmes specifically focused to adaptation to greenhouse conditions should be developed.

Keywords: breeding, cultivation conditions, fruit quality, genotype × environment interaction, selection, *Solanum lycopersicum*, yield

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces with extremely extended long shelf-life, of several months at room temperature, have been traditionally grown in Mediterranean regions (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015). These landraces are commonly known as “de colgar” (hanging) in Spanish, “de penjar” (hanging) or “de ramellet” (small cluster) in Catalan, or “da serbo” in Italian (Bota et al., 2014; Cortés-Olmos et al., 2015; Mercati et al., 2015). These local names make reference to its conservation by hanging in strings (“de colgar” and “de penjar”), to the fact that they normally set in clusters (“de ramellet”), or that have a long storage period (“da serbo”). Before the generalized advent of refrigerators and greenhouse cultivation Mediterranean long shelf-life tomatoes, when stored in ventilated rooms, typically hanging in strings with the fruits threaded through the pedicel, allowed the availability of fresh tomatoes throughout the winter time (Casals et al., 2012; Bota et al.,

2014; Mercati et al., 2015). This characteristic made its cultivation very popular in several Mediterranean areas, like in the island of Majorca in the first half of the 20th century (Fairchild et al., 1927). Despite the general loss of prominence of the Mediterranean long shelf-life tomatoes during the second half of the 20th century, in the last years there has been an increased interest in these local varieties for their utilization in the traditional local gastronomy (Romero del Castillo et al., 2012), as well as for their resilience and drought tolerance as adaptive traits against climatic change (Maamar et al., 2105; Fullana-Pericàs et al., 2017, 2018).

Several studies reveal that the long shelf-life of most of the Mediterranean long shelf-life tomatoes of the Spanish “de colgar”, “de penjar”, and “de ramellet” typologies is caused by the *alc* (*alcobaça*) allele of the NAC.NOR gene (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014). Also, the *alc* allele probably accounts for the long shelf-life of the Italian “da serbo” type (Mercati et al., 2015), but not for other Italian long shelf-life varieties like Corbarino and Lucariello (Tranchida-Lombardo et al., 2018). The *alc* mutation confers a specific phenotype associated to a delayed ripening and reduced lycopene/ β -carotene ratio in the fruits (Mutschler et al., 1992; Figàs et al., 2015b). Amazingly, the *alc* allele is found in many different genetic backgrounds (Cebolla-Cornejo et al., 2013), indicating that throughout the years traditional farmers made an efficient selection of a diverse set of tomato landraces carrying the *alc* mutation. In this way, there are many local varieties in the Mediterranean region with the *alc* mutation, with a wide morphological diversity (Bota et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Figàs et al., 2015a; Mercati et al., 2015). However, because fruit size in these long shelf-life tomatoes is negatively correlated with the postharvest conservation period (Casals et al., 2012), fruits are generally

smaller than those of standard tomatoes (Bota et al., 2014; Figàs et al., 2015a). Also, remarkably, these Mediterranean long shelf-life tomatoes use to have a higher dry matter content than standard varieties (Figàs et al., 2015b), which might also contribute to its extended postharvest, and also renders them as an interesting material for breeding tomatoes with better flavor (Casals et al., 2011).

The traditional cultivation of the long shelf-life local tomato varieties from the Mediterranean region has been done in the open field with no or limited irrigation (Mercati et al., 2015; Fullana-Pericàs et al., 2018). The limited availability of water reduced yield dramatically, but also improved conservation (Conesa et al., 2014), and reduced the cultivation costs to a minimum, so that even with low yields cultivation was profitable. During the last decades the situation changed completely and modern techniques, including irrigation, and increased fertilization have been applied to Mediterranean long shelf-life tomatoes in order to increase yields. In addition, due to increased demand (Romero del Castillo et al., 2014), greenhouse tomato producers started to grow the *alc* traditional long shelf-life tomatoes. Greenhouse cultivation, although more expensive than open field cultivation, allows avoiding costs associated to storage of large quantities of fruits in well ventilated rooms for long periods. It also may reduce the postharvest losses due to spoilage of a certain percentage of fruits after months of storage (Casals et al. 2012; Conesa et al., 2014) caused by bruising during harvest and postharvest handling or due to tomato berries breaking off from the pedicel in fruits hanged on strings. However, because these long shelf-life varieties were selected for open field cultivation in the summer season under no or reduced irrigation and low-input conditions (Bota et al., 2014; Mercati et

al., 2015; Fullana-Pericàs et al., 2017), and tomato greenhouse conditions involve reduced solar irradiation and high levels of irrigation and fertilization (Peet and Welles, 2005), their adaptation to greenhouse conditions is often suboptimal. Although long shelf-life tomato cultivation has traditionally been based on local landraces (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), some local seed companies are marketing selections of this type of tomato and in some cases are producing hybrids with long shelf-life characteristics resulting from the presence of the *alc* mutation (Marín, 2015).

Because of the large diversity in terms of genetic variation of Mediterranean long shelf-life tomatoes (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Mercati et al., 2015), there are ample opportunities for exploitation of the genotype x environment (GxE) interaction for improving the production and quality of long shelf-life tomatoes under greenhouse. In other works in tomato, GxE interaction in tomato varieties when comparing open field and greenhouse conditions has been very important (Kuti and Konuru, 2005; Roselló et al., 2010; Adalid et al., 2012). However, to our knowledge there are no comprehensive evaluations of traits of interest to producers (plant and fruit morphology, agronomic traits), traders (fruit characteristics, postharvest performance), and consumers (fruit morphology, composition) of a significant number of long shelf-life tomato varieties from different origins and types, including landraces and commercial selections and hybrids.

We hypothesize that the large diversity, in particular in the landraces, found among Mediterranean long shelf-life tomatoes carrying the *alc* allele (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), can be exploited for selecting materials with good adaptation to

greenhouse conditions. To test our hypothesis, in this work we evaluate 12 long shelf-life tomato varieties carrying the *alc* mutation from different origins and types (landraces, commercial selections, commercial hybrids) in open field and in greenhouse and characterize them for 52 morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors. The results obtained will provide relevant information for the enhancement of this varietal type and its adaptation to greenhouse cultivation.

Materials and methods

Plant materials and cultivation conditions

Twelve long shelf-life varieties carrying the *alc* allele were used for the present study (Figure 1). Varieties used include: a) three landraces used for the production of the Valencian Community Quality Mark “Tomata de Penjar”, produced in the Alcalà de Xivert municipality (province of Castellò, mainland Spain) and locally known as ‘Estrella’, ‘Moradeta’, and ‘Punteta’; b) the type landrace (UIB-2-70) of the conservation variety “Tomàtiga de Ramellet” from Majorca Island (Spain); c) three landraces from the germplasm bank of Universitat de les Illes Balears collected in Majorca Island (BGIB-018, BGIB-107, BGIB-198), corresponding to the “Tomàtiga de Ramellet” highly variable landrace (Bota et al., 2014); d) a selection of long shelf-life (*alc*) tomato used for greenhouse cultivation in the Almería province (Spain) called ‘SEL1’; e) two commercial varieties corresponding to selections of the long shelf-life (*alc*) tomato type (‘Domingo’ and ‘Mallorquín’) from

Semillas Batlle (Molins de Rei, Barcelona, Spain); and, f) two commercial long shelf-life hybrids ('Palamós F1' and 'Manacor F1') both of which are resistant to *Tomato mosaic virus* (ToMV) and to *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), and also to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in the case of 'Manacor F1', from Semillas Fitó (Barcelona, Spain).

The 12 varieties were grown under both open field (OF) and greenhouse (GH), with 10 plants per variety under each of the conditions. Plants were distributed in a completely randomized design. Prior to germination, seeds were disinfected with a 1:10 w/v solution of dodecahydrate trisodium phosphate ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) for 3 h and rinsed three times with distilled water; after that a new round of disinfection was performed with a solution of 0.37% sodium hypochlorite (NaOCl) for 1 h followed by three rinsings of 10 min with distilled water. After that, seeds were left to dry on filter paper for several days under room conditions and then placed in hermetic flasks with dry silica gel for several weeks. After that seeds were thermotreated at 80°C for 24 h. Disinfected seeds were germinated in commercial substrate seedling trays and transplanted when plantlets had a height of around 12-15 cm.

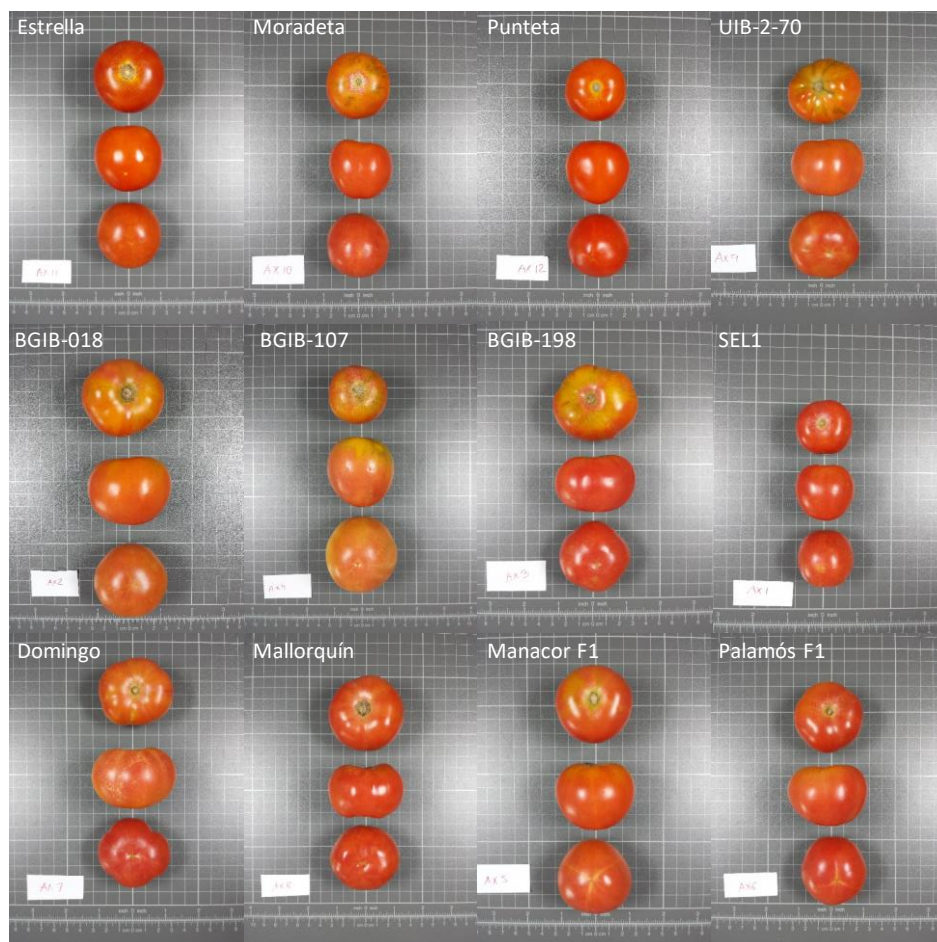


Figure 1. Fruits of the 12 long shelf-life tomato varieties used for the characterization using morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors. Varieties ‘Estrella’, ‘Moradeta’, and ‘Punteta’ correspond to landraces used for the production of the Valencian Community (Spain) Quality Mark “Tomata de Penjar”; variety ‘UIB-2-70’ is the type landrace for the conservation variety “Tomàtiga de Ramellet” from Majorca Island (Spain); varieties ‘BGIB-018’, ‘BGIB-107’, ‘BGIB-198’ correspond to the “Tomàtiga de Ramellet” highly variable landrace from Majorca Island; variety ‘SEL1’ is a selection used for greenhouse cultivation in the Almería province (Spain), ‘Domingo’ and ‘Mallorquín’ are commercial varieties corresponding to selections from Semillas Batlle (Molins de Rei, Barcelona, Spain); and ‘Palamós F1’ and ‘Manacor F1’ are two commercial long shelf-life hybrids from Semillas Fitó (Barcelona, Spain). The grid cells in the pictures measure 1 × 1 cm.

The open field plot was located in Alcalà de Xivert (Castelló, Spain) in the area of traditional cultivation of the Quality Mark “Tomata de Penjar”. Plants were spaced 0.70 m among rows and 0.50 m within rows. The traditional cultivation techniques were performed, with trellising with canes, and plants were left unpruned. Irrigation and fertilization were provided through a drip irrigation system. Weeds were removed with a hoe. The plastic greenhouse used for the evaluation was also located in Alcalà de Xivert at a distance of 3 km from the open field plot. Plants were distributed using the same plant density than for OF. Plants were trained using vertical strings, pruned to remove side shoots, and watered and fertilized with a drip irrigation system. Preventive phytosanitary treatments were performed against whiteflies and *Tutta absoluta* in both OF and GH conditions. Transplanting of OF and GH trials was performed on 29 April 2016 and 22 February 2016, respectively and lasted until 24 July 2016 and 25 May 2016. Fruits of both trials were harvested at the commercially ripe stage.

Characterization

Varieties were characterized using 52 descriptors, including morphological (34), agronomic (6), physico-chemical properties (6), and chemical composition (6) traits. Morphological and agronomic descriptors were measured on a plant basis (n=10). The morphological descriptors were quantitative (6), meristic (2), based a quantitative scale (19), or dichotomic (7) and corresponded to IPGRI (1996) tomato characterization descriptors (Table 1). The agronomic descriptors considered were: fruit weight (g); fruit shape (ratio length/width) obtained from IPGRI

descriptors Fruit length and Fruit width; fruit firmness (Shore A standard units) measured in two opposite sides in the mid-part of the fruit between the proximal and distal ends of the fruit using a 53215 Fruit Hardness Tester (TR Turoni srl, Forli, Italy); color difference with true red obtained using the formula $[(L^*-50)^2+(a^*-60)^2+b^{*2}]^{0.5}$ from CIELAB fruit colour parameters L^* , a^* , and b^* measured in the central part of the fruit at a mid-distance between the distal and proximal parts using a CR-300 (Minolta, Osaka, Japan) chromameter; yield (kg/plant); and, daily moisture loss (%) by measuring the fruit weight at harvest and after storage for 30 d at room temperature of a sample of 10 fruits per plant and calculating the average daily loss. For descriptors involving measurements of fruits, 10 fruits per plant were measured and values obtained for individual fruits were used to calculate the average value for each individual plant.

Table 1. Morphological descriptors used for the characterization of 12 long shelf-life tomato varieties in two environments. Full details of the descriptors used can be consulted elsewhere (IPGRI, 1996).

Descriptors	IPGRI descriptor code	Units/scale
Plant growth type	7.1.2.1	1=Dwarf; 4=Indeterminate
Plant size	7.1.2.2	3=Small; 7=Large
Stem pubescence intensity	7.1.2.4	3=Sparse; 7=Dense
Foliage density	7.1.2.6	3=Sparse; 7=Dense
Number of leaves under 1st inflorescence	7.1.2.7	---
Leaf attitude	7.1.2.8	3=Semi-erect; 7=Dropping
Degree of leaf dissection	7.1.2.10	3=Low; 7=High
Anthocyanin colouration of leaf veins	7.1.2.11	1=Obscure vein; 2=Clear (normal)
Inflorescence type	7.2.1.1.	1=Generally uniparous; 3=Generally multiparous
Number of flowers per inflorescence	8.1.5	---
Corolla blossom type	7.2.1.3	1=Closed; 2=Open
Style position	7.2.1.7	1=Inserted; 4=Highly exerted
Style shape	7.2.1.8	1=Simple; 3=Divided
Style hairiness	7.2.1.9	0=Absent; 1=Present
Dehiscence	7.2.1.11	1=Poricidal; 2=Longitudinal
Exterior colour of immature fruit	7.2.2.1	1=Greenish-white; 9=Very dark green
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	7.2.2.2	0=Absent; 1=Present
Intensity of greenback (shoulder)	7.2.2.3	3=Slight; 7=Strong
Fruit pubescence	7.2.2.4	3=Sparse; 7=Dense
Fruit size homogeneity	7.2.2.7	3=Low; 7=High
Fruit length	7.2.2.9	mm
Fruit width	7.2.2.10	mm
Easiness of fruit to detach from pedicel	7.2.2.15	3=Easy; 7=Difficult
Fruit shoulder shape	7.2.2.16	1=Flat; 7=Strongly depressed
Pedicel length	7.2.2.17	cm
Pedicel length from abscission layer	7.2.2.18	cm
Presence/absence of jointless pedicel	7.2.2.19	0=Absent; 1=Present
Width of pedicel scar	7.2.2.20	mm
Size of corky area around pedicel scar	7.2.2.21	mm
Skin colour of ripe fruit	7.2.2.23	1=Colourless; 2=Yellow
Fruit blossom end shape	7.2.2.33	1=Indented; 3=Pointed
Radial cracking ^a	8.2.3	1=Corky lines; 7=Severe
Concentric cracking ^a	8.2.4	1=Corky lines; 7=Severe
Fruit fasciation	8.2.5	3=Slight; 7=Severe

^aValues of 0 were assigned for these descriptors when cracking was not observed.

The chemical properties and chemical composition descriptors were measured on six samples (n=6) taken from the bulked harvest of all plants, with at least five fruits per sample. Samples were squeezed with a domestic juice extractor and two aliquots were obtained: one for immediate determination of several traits and another one was frozen in liquid N₂ and stored at -80°C until used for the other traits.

Chemical properties measured were: dry matter (%) by drying at 105°C until constant weight; soluble solids (SS; %) by refractometry; pH with a pHmeter; titratable acid (TA; %) by titration of diluted juice (1:5) with 0.5 N NaOH to pH 8.1 and expressed as citric acid percentage; taste index (TI) by applying the formula $TI = TA + (SS / (20 \times TA))$ according to Navez et al. (1999); and, antioxidant activity (mM TE/g), measured using the colourimetric DPPH assay and expressed as Trolox equivalents (TE). All chemical properties were determined in the immediate analysis aliquot, with the exception of antioxidant activity, which was measured in the frozen aliquot. Chemical composition traits evaluated were the contents in: glucose (g/kg) and fructose (g/kg) measured using the D-Fructose/D-Glucose Assay Kit (Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland); citric acid using the CI9920 enzymatic kit (BEN S.r.l., Milan, Italy); ascorbic acid (mg/kg) by potentiometric titration with a Titrino 702 (Metrohm, Herisau, Switzerland) using a Metrohm 6.0420.100 combined Pt selective electrode and a 0.005 M chloramine solution as standard; lycopene (mg/kg) and β -carotene (mg/kg) by extraction with ethanol:hexane (4:3 v/v) in darkness and determination of lycopene and β -carotene in the hexane phase at 503 nm (lycopene) and 450 nm (β -carotene). All chemical composition analysis were performed in the frozen

aliquot, except ascorbic acid, which was measured in the aliquot used for immediate analysis. Full details of the procedures for determining chemical properties and chemical composition traits are described elsewhere (Figàs et al., 2015b).

Data analyses

Data for the 52 morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors were subjected to a two factorial (variety and environment) analysis of variance (ANOVA) including the interaction among both main factors. The total sums of squares was partitioned in the sums of squares for variety, environment, variety \times environment, and residual effects. For morphological descriptors, means and range were obtained for each environment. For agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors, the average value for each variety in each environment was calculated and the average standard error (SE) and least significant difference (LSD) for combination of variety and environment were obtained from the ANOVA analyses. A principal components analysis (PCA) was performed using pairwise Euclidean distances among variety means for each environment using standardized data ($\mu=0$; $\sigma=1$) for the descriptors that were variable.

Results

Analysis of variance

Out of the 52 descriptors evaluated, six morphological descriptors were uniform across all varieties and environments. These descriptors and

their states were: Corolla blossom type (1=Closed); Style shape (1=Simple); Dehiscence (2=Longitudinal); Fruit pubescence (3=Sparse); Presence/absence of jointless pedicel (0=Absent); Concentric cracking (0=No cracking). For the rest of descriptors, significant differences ($P < 0.05$) were found among varieties (Table 2). The percentage of sums of squares accounted for by the variety effect ranged between 8.8% (Radial cracking) and 100% (for Plant growth type and Skin colour of ripe fruit). The variety effect was the greatest contributor to the sums of squares for most morphological descriptors. However, for the rest of descriptors the variety effect was only the greatest contributor for the agronomic descriptors Fruit weight and Fruit shape and for the chemical properties descriptors Dry matter and Soluble solids (Table 2). Significant differences among cultivation environments were found for 36 out of the 46 variable descriptors. Traits non-significant for the cultivation environment effect were six morphological ones as well as four related to chemical properties and composition (mostly related to acidity). The environmental effect was the main contributor to the sums of squares only for five descriptors, of which four were morphological (Foliage density, Leaf attitude, Pedicel length, and Width of pedicel scar) and the other one was the chemical composition descriptor Glucose (Table 2). The variety \times environment interaction effect was significant for all variable descriptors, except for four which, apart from the two morphological ones for which only varietal differences were observed (Plant growth type and Skin colour of ripe fruit), included pH and Ascorbic acid. The variety \times environment interaction was the greatest contributor to the sums of squares for three morphological descriptors (Number of leaves under 1st inflorescence, Intensity of greenback, and Fruit fasciation), while it had the same

contribution than Variety for five other morphological descriptors (Table 2). The residual effect was the greatest contributor to the sums of squares for 14 descriptors, of which two were morphological (Pedicel length from abscission layer, and Radial cracking), four agronomic (all except Fruit weight and Fruit shape), three chemical properties (pH, Titratable acidity, and Antioxidant activity), and five chemical composition (all except Glucose) descriptors.

Table 2. Percentage of the total sums of squares for the effects of variety, environment, interaction between variety and environment and residuals, for the 46 morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors evaluated for which variation was observed in 12 long shelf-life tomato varieties grown in two environments (open field and greenhouse).

Descriptors	Sums of squares ^a			
	Variety	Environment	Variety × Environment	Residual
	<i>Morphological descriptors</i>			
Plant growth type	100.0***	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0
Plant size	54.2***	24.1***	20.8***	0.9
Stem pubescence density	48.9***	2.1***	48.9***	0.0
Foliage density	22.8***	46.3***	30.9***	0.0
Number of leaves under 1st inflorescence	29.3***	0.2 ^{ns}	42.9***	27.5
Leaf attitude	21.4***	55.2***	21.4***	2.0
Degree of leaf dissection	43.4***	17.8***	38.3***	0.5
Anthocyanin colouration of leaf veins	47.8***	4.3***	47.8***	0.0
Inflorescence type	37.6***	21.8***	11.6***	29.0
Number of flowers per inflorescence	47.9***	12.8***	11.0***	28.4
Style position	57.4***	6.2***	14.9***	21.4
Style hairiness	42.9***	14.3***	42.9***	0.0
Exterior colour of immature fruit	45.5***	5.0***	45.5***	4.0
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	47.8***	4.3***	47.8***	0.0
Intensity of greenback (green shoulder)	40.0***	0.0 ^{ns}	58.1***	1.9
Fruit size homogeneity	39.9***	4.8***	38.1***	17.2
Fruit length	67.7***	0.1 ^{ns}	6.7***	25.5

Descriptors	Sums of squares ^a			
	Variety	Environment	Variety × Environment	Residual
Fruit width	59.6***	14.3***	6.8***	19.4
Easiness of fruit to detach from pedicel	49.5***	33.6***	16.8***	0.0
Fruit shoulder shape	46.5***	33.2***	7.4***	13.0
Pedicel length	15.9***	42.6***	7.4***	34.1
Pedicel length from abscission layer	49.2***	8.5***	8.3***	34.0
Width of pedicel scar	24.0***	42.6***	15.2***	18.2
Size of corky area around pedicel scar	23.7***	20.8***	13.6***	41.8
Skin colour of ripe fruit	100.0***	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0
Fruit blossom end shape	61.9***	5.1***	6.7***	26.3
Radial cracking	8.8*	0.6 ^{ns}	9.3*	81.4
Fruit fasciation	43.0***	2.4***	48.2***	6.4
<i>Agronomic descriptors</i>				
Fruit weight (g)	50.4***	22.4***	9.9***	17.3
Fruit shape	68.1***	12.9***	2.3*	16.7
Fruit firmness (Shore A standard units)	33.4***	12.0***	15.2***	39.4
Color difference with true red	24.2***	24.1***	6.5**	45.3
Yield (kg/plant)	18.0***	16.4***	12.2***	53.4
Daily moisture loss (%)	24.2***	24.1***	6.5**	45.3
<i>Chemical properties descriptors</i>				
Dry matter (%)	49.3***	9.0***	15.8***	25.9
Soluble solids (%)	53.3***	2.1**	13.8***	30.9
pH	42.8***	1.2 ^{ns}	4.3 ^{ns}	51.6
Titrateable acidity (%)	34.9***	0.1 ^{ns}	10.8*	54.3
Taste index	65.1***	0.1 ^{ns}	8.7***	26.1
Antioxidant activity (mM TE/g)	17.7***	8.3***	14.7**	59.3
<i>Chemical composition descriptors</i>				
Glucose (g/kg)	11.3***	38.9***	12.9***	36.9
Fructose (g/kg)	17.6***	9.9***	12.1*	60.4
Citric acid (g/kg)	26.8***	0.0 ^{ns}	18.5***	54.7
Ascorbic acid (mg/kg)	40.3***	3.6**	5.1 ^{ns}	51.0
Lycopene (mg/kg)	16.0**	10.5***	14.2***	59.3
β-carotene (mg/kg)	13.0*	2.5*	18.3**	66.2

^a ns, *, **, and *** indicate non-significant, or significant at p <0.05, <0.01, and <0.001, respectively.

Variation for morphological traits

A wide range of variation among accessions for the 28 morphological descriptors displaying variation was found under both cultivation environments (Table 3). In this respect, for traits measured in a quantitative scale in most cases the range of variation covered an important part of the scale range. An exception was the Radial cracking in which a narrow range of variation was observed for this descriptor, as the incidence of cracking was very low (Table 3). For quantitative and meristic descriptors, a considerable variation was also observed, with differences of over four-fold for the Number of flowers per inflorescence.

GH cultivation conditions resulted in relevant changes in the plant morphology compared to OF conditions, although the ranges of variation overlapped for all descriptors (Table 3). In this way, if we consider morphological traits for which there is a change of over 10% in GH with respect to OF, plants grown in GH had smaller plant size, less foliage density, leaves with a greater degree of dropping and less divided, inflorescences with higher division and with more flowers, less exerted and hairy styles, fruits less wide and easier to detach from pedicel, flatter fruit shoulder shape, longer pedicels, smaller pedicel scar, greater corky area around the pedicel scar, more pointed, and with greater fruit fasciation than those from OF (Table 3).

Table 3. Means and range of variation for varietal means for the 28 morphological descriptors which have been variable in 12 long shelf-life tomato varieties grown in two environments (open field and greenhouse). Units or scale for each descriptor can be consulted in Table 1.

Descriptors	Open field		Greenhouse	
	Mean	Range	Mean ^a	Range
Plant growth type	3.83	2-4	3.83 ^{ns}	2-4
Plant size	6.50	5-7	5.58 ^{***}	3-7
Stem pubescence density	5.00	5-5	4.83 ^{***}	3-6
Foliage density	6.58	4-7	4.58 ^{***}	3-7
Number of leaves under 1st inflorescence	6.99	6.3-7.3	7.13 ^{ns}	4.5-9.3
Leaf attitude	5.00	5-5	6.05 ^{***}	5-7
Degree of leaf dissection	5.49	5-6	4.75 ^{***}	3-6
Anthocyanin colouration of leaf veins	1.92	1-2	2.00 ^{***}	2-2
Inflorescence type	1.45	1-2.5	2.16 ^{***}	1-3
Number of flowers per inflorescence	5.99	4.5-11.2	8.32 ^{***}	3.5-15.1
Style position	2.00	1.1-3.7	1.67 ^{***}	1.0-2.4
Style hairiness	1.00	1-1	0.75 ^{***}	0-1
Exterior colour of immature fruit	3.18	3-5	3.00 ^{***}	3-3
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	0.92	0-1	1.00 ^{***}	1-1
Intensity of greenback (green shoulder)	3.93	3-5	3.92 ^{ns}	3-6
Fruit size homogeneity	6.09	5-7	5.83 ^{***}	5-6
Fruit length	4.33	3.70-4.96	4.30 ^{ns}	3.50-4.91
Fruit width	5.65	4.70-7.34	5.08 ^{***}	4.08-5.87
Easiness of fruit to detach from pedicel	4.42	3-5	3.42 ^{***}	3-5
Fruit shoulder shape	3.68	1.4-5	2.28 ^{***}	1-3
Pedicel length	2.44	2.05-3.19	3.32 ^{***}	2.92-3.88
Pedicel length from abscission layer	0.81	0.70-1.05	0.90 ^{***}	0.70-1.04
Width of pedicel scar	0.72	0.48-1.23	0.41 ^{***}	0.30-0.55
Size of corky area around pedicel scar	0.13	0.10-0.22	0.20 ^{***}	0.08-0.30
Skin colour of ripe fruit	1.17	1-2	1.17 ^{ns}	1-2
Fruit blossom end shape	1.41	1-3	1.70 ^{***}	1-3
Radial cracking	0.01	0-0.1	0.05 ^{ns}	0-0.6
Fruit fasciation	0.10	0-0.7	0.36 ^{***}	0-4

^a ns, and *** indicate that differences between open field and greenhouse environments are non-significant, or significant at $p < 0.001$, respectively.

Variation for agronomic descriptors

Fruits were, on average, 40% heavier under OF than under GH conditions, with a considerable variation among varieties, ranging between 60.2 g/fruit ('Moradeta') to 161.0 g/fruit ('Mallorquín') for OF and between 51.2 g/fruit ('Moradeta') and 89.0 g/fruit ('BGIB-018') for GH (Table 4). Fruits from OF were more flattened than those of GH, although under both conditions all varieties had a fruit length/width ratio below 1, except for variety 'Punteta', with a value slightly above 1 under GH conditions. Fruits from OF conditions were more firm than those of GH, with the exception of variety 'SEL1' (Table 4). A smaller range of variation was observed for OF (between 46.8 Shore A standard units for 'BGIB-018' and 67.4 Shore A standard units for 'Punteta') than for GH (between 31.7 Shore A standard units for 'Estrella' and 59.5 Shore A standard units for 'Manacor F1'). Color difference with true red was of lower magnitude and again the range of variation was narrower under OF than under GH (Table 4). Yield was, on average, 35% higher under OF than under GH. All varieties had a higher yield under OF than under GH, with the exception of 'Domingo'. Considerable variation among varieties was observed with ranges of variation between 2.92 kg/plant for 'SEL1' and 5.03 kg/plant for 'BGIB-107' in OF and between 1.84 kg/plant for 'Punteta' and 4.0 kg/plant of 'Domingo' in GH (Table 4). Fruits from GH had a higher (on average 41%) moisture loss during postharvest than those from OF. Under both conditions the variety with lower daily moisture loss was 'BGIB-107' with values of 0.175% and 0.243% under OF and GH, respectively, while the one with higher moisture loss was 'Estrella' with values of 0.348% and 0.476% under OF and GH, respectively (Table 4).

Table 4. Values for agronomic descriptors for 12 long shelf-life tomato varieties grown in two environments (open field and greenhouse), and standard error (SE) and least significant difference (LSD; P=0.05) for combination of variety and environment.

Variety	Fruit weight (g)		Fruit shape (length/width ratio)		Fruit firmness (Shore A standard units)		Color difference with true red		Yield (kg/plant)		Daily moisture loss (%)	
	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH
BGIB-018	97.9	89.0	0.736	0.757	46.8	48.0	48.4	45.8	4.58	3.05	0.183	0.286
BGIB-107	105.7	71.5	0.876	0.973	60.9	55.4	47.3	46.8	5.03	2.31	0.175	0.243
BGIB-198	114.9	71.6	0.688	0.778	53.2	49.8	45.3	44.1	4.17	2.59	0.223	0.404
Domingo	73.1	51.2	0.667	0.717	59.7	45.4	49.7	45.8	3.47	4.30	0.196	0.359
Estrella	84.4	59.6	0.788	0.846	54.8	31.7	46.9	47.2	4.32	2.44	0.348	0.476
Mallorquín	161.0	87.1	0.657	0.803	52.3	44.4	44.7	42.1	4.77	3.84	0.245	0.423
Manacor F1	108.9	75.7	0.872	0.917	59.6	59.5	48.0	46.8	4.63	3.91	0.275	0.443
Moradeta	60.2	51.2	0.827	0.915	60.4	45.9	42.2	42.0	3.74	2.85	0.304	0.334
Palamós F1	91.5	76.0	0.750	0.822	60.0	57.1	47.4	45.8	4.16	2.97	0.226	0.391
Punteta	65.9	41.1	0.962	1.015	67.4	58.2	40.7	37.4	3.15	1.84	0.302	0.323
SEL1	58.1	52.4	0.813	0.920	49.7	54.0	42.9	42.2	2.92	2.32	0.235	0.307
UIB-2-70	100.2	73.3	0.694	0.791	51.3	47.5	46.3	46.2	3.09	3.27	0.201	0.255
Average ^a	93.5	66.6***	0.778	0.855***	56.3	49.8***	45.8	44.4***	4.00	2.97***	0.243	0.354***
SE	3.93		0.017		2.0		0.7		0.31		0.025	
LSD (P=0.05)	7.74		0.034		3.9		1.5		0.61		0.050	

^a*** indicates that differences between open field and greenhouse environments are significant at p <0.001.

Variation for chemical properties descriptors

On average, fruits from GH cultivation had higher dry matter content (8.5%) than those from OF conditions, although for four varieties values were higher under OF conditions (Table 5). Values ranged between 5.61% for 'BGIB-107' and 8.04% for 'SEL1' under OF and between 5.46% for 'BGIB-107' and 8.76% for 'Punteta' under GH. Similarly, for soluble solids content fruits from GH had average higher contents than those of OF, although the differences were smaller (3.7%) than for dry matter content, and in five varieties the contents under OF were higher than those of GH (Table 5). As occurred for dry matter content, the variety with lowest values was 'BGIB-107' with 5.23% and 5.05% under OF and GH, respectively, while the ones with highest values were 'SEL1' under OF (6.98%) and 'Moradeta' under GH (7.92%). Regarding pH, average differences among environments were non-significant, although for some varieties significant differences existed among environments (Table 5). The variety with lowest pH values was 'BGIB-198' (4.08 in both environments) and the ones with highest values were 'Estrella', 'Mallorquín' and 'Moradeta' under OF (4.38) and the latter under GH (4.39). As for pH, no significant differences were observed among environments for titratable acidity, although a considerable range of variation within each environment was observed, with values between 0.37% for 'Mallorquín' and 0.62% for 'BGIB-018' under OF and between 0.40% for 'Estrella' and 0.58% for 'Moradeta' under GH (Table 5). Again, no differences among environments were observed for taste index among environments, although for some varieties significant differences were observed. In all cases the taste index value was above 1, with the lowest

values observed in 'BGIB-107' (1.02 in both environments) and the highest in 'Punteta' (1.28 in OF and 1.32 in GH) (Table 5). The antioxidant activity was higher under GH (on average 25.6%) than under OF, although for three varieties it was higher under OF (Table 5). A wide range of variation was observed for antioxidant activity among varieties in both conditions, with values ranging between 0.57 mM TE/g for 'Estrella' and 1.26 mM TE/g for 'Palamós F1' under OF, and between 0.66 mM TE/g for 'BGIB-018' and 1.70 mM TE/g for 'Domingo' under GH (Table 5).

Table 5. Values for chemical properties descriptors for 12 long shelf-life tomato varieties grown in two environments (open field and greenhouse), and standard error (SE) and least significant difference (LSD; P=0.05) for combination of variety and environment.

Variety	Dry matter (%)		Soluble solids (%)		pH		Titratable acidity		Taste index		Antioxidant activity	
	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH
BGIB-018	7.34	6.78	6.58	5.83	4.17	4.18	0.62	0.50	1.18	1.08	1.12	0.66
BGIB-107	5.61	5.46	5.23	5.05	4.15	4.18	0.50	0.44	1.02	1.02	0.77	0.76
BGIB-198	6.30	8.51	6.13	6.68	4.08	4.08	0.60	0.65	1.11	1.17	0.72	1.01
Domingo	6.19	7.40	5.52	6.35	4.26	4.32	0.42	0.49	1.08	1.14	0.89	1.70
Estrella	7.16	7.08	6.37	5.97	4.38	4.26	0.42	0.40	1.21	1.15	0.57	1.09
Mallorquín	6.40	7.03	5.93	6.23	4.38	4.33	0.37	0.45	1.17	1.15	0.81	0.90
Manacor F1	7.43	7.80	6.75	6.72	4.24	4.21	0.49	0.50	1.23	1.17	0.97	1.18
Moradeta	7.84	8.76	6.58	7.92	4.38	4.39	0.43	0.49	1.24	1.30	0.82	1.18
Palamós F1	6.65	8.17	6.27	6.50	4.25	4.11	0.48	0.58	1.14	1.14	1.26	1.38
Punteta	7.47	8.57	6.78	7.82	4.34	4.33	0.40	0.45	1.28	1.32	0.72	1.30
SEL1	8.04	7.75	6.98	7.00	4.30	4.25	0.55	0.45	1.22	1.23	1.18	1.15
UIB-2-70	6.81	7.12	6.32	6.13	4.18	4.10	0.60	0.54	1.17	1.11	0.91	1.29
Average ^a	6.94	7.53***	6.29	6.52**	4.26	4.23 ^{ns}	0.49	0.50 ^{ns}	1.17	1.16 ^{ns}	0.90	1.13***
SE	0.23		0.20		0.05		0.04		0.02		0.14	
LSD (P=0.05)	0.45		0.39		0.09		0.07		0.04		0.28	

^a ns, **, and *** indicate that differences between open field and greenhouse environments are non-significant, or significant at p <0.01, and <0.001, respectively.

Variation for chemical composition descriptors

Fruits from GH conditions had higher contents of glucose (on average 49%) than those from open field (Table 6). This higher content under GH conditions occurred in all varieties, except 'Mallorquín'. The range of variation under OF went from 11.6 g/kg in 'BGIB-018' to 21.8 g/kg in 'Mallorquín', while under GH went from 17.7 g/kg in 'Domingo' to 31.5 g/kg in 'Punteta'. A similar situation to that of glucose occurred for fructose content, with higher values (37.9% on average) under GH conditions, except for 'Mallorquín'. A wide variation was observed among varieties, in particular under OF, with values ranging from 4.2 g/kg for 'Estrella' to 19.7 g/kg for 'Moradeta', while for GH values ranged between 13.2 g/kg for 'Palamós F1' and 22.7 g/kg for 'BGIB-018' (Table 6). Non-significant differences were observed among environments for average values of citric acid content, although many differences among environments were observed for individual varieties. In this respect, the ranges of variation under OF went from 1.53 g/kg in 'Mallorquín' to 5.82 g/kg in 'SEL1', while under GH went from 2.31 g/kg in 'Domingo' to 9.46 g/kg in 'BGIB-198' (Table 6). Ascorbic acid content was slightly higher under GH than under OF (on average 4.4%), although for three varieties, values were higher under OF. The variety with lowest values under both conditions was 'BGIB-107' with values of 277 mg/kg and 301 mg/kg under OF and GH, respectively, while the one with highest values was 'Punteta', with values of 393 mg/kg and 420 mg/kg under OF and GH, respectively (Table 6). Lycopene contents were, on average higher (67.4%) under OF than under GH, although for 'Palamós F1' and 'Punteta', higher values were obtained under GH. Considerable variation

was observed for lycopene content in both environments with ranges between 13.8 mg/kg for 'Estrella' and 70.7 mg/kg for 'Moradeta' under OF, and between 9.5 mg/kg for 'BGIB-107' and 25.7 mg/kg for 'Punteta' under GH (Table 6). Similarly to lycopene, β -carotene contents were higher under OF (on average 17.2%) than under GH, except for three varieties. Ranges of variation for β -carotene varied between 6.8 mg/kg for 'Manacor F1' and 13.0 mg/kg for 'Domingo' under OF, and between 5.3 mg/kg for 'BGIB-107' and 16.1 mg/kg for 'Palamós F1' under OF (Table 6).

Table 6. Values for chemical composition descriptors for 12 long shelf-life tomato varieties grown in two environments (open field and greenhouse), and standard error (SE) and least significant difference (LSD; P=0.05) for combination of variety and environment.

Variety	Glucose (g/kg)		Fructose (g/kg)		Citric acid (g/kg)		Ascorbic acid (mg/kg)		Lycopene (mg/kg)		β-carotene (mg/kg)	
	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH	OF	GH
BGIB-018	11.6	22.9	11.6	22.7	4.80	3.55	348	345	36.6	15.4	11.6	6.2
BGIB-107	13.4	23.1	19.6	21.4	3.65	4.27	277	301	38.5	9.5	8.7	5.3
BGIB-198	17.7	27.3	10.7	18.0	5.06	9.46	325	340	32.3	14.1	9.3	8.5
Domingo	14.8	17.7	12.0	16.0	3.85	2.31	342	379	22.0	18.8	13.0	9.6
Estrella	13.4	23.1	4.2	19.2	5.19	3.06	336	369	13.8	12.6	11.6	8.7
Mallorquín	21.8	20.0	19.0	18.0	1.53	4.86	367	377	26.1	19.6	7.7	7.9
Manacor F1	15.5	23.5	9.3	15.7	5.05	2.96	345	378	20.8	18.3	6.8	8.7
Moradeta	20.8	25.6	19.7	15.0	2.43	2.44	320	338	70.7	23.7	15.0	7.7
Palamós F1	17.5	23.7	11.5	13.2	5.23	8.78	358	328	22.9	25.5	7.7	16.1
Punteta	14.3	31.5	4.7	13.9	4.35	2.57	393	420	20.7	25.7	11.9	9.9
SEL1	17.2	24.2	11.3	14.1	5.82	2.88	343	372	32.2	22.4	10.7	9.1
UIB-2-70	14.9	24.8	15.1	17.6	5.25	6.09	356	354	32.6	15.2	8.0	7.6
Average ^a	16.1	24.0***	12.4	17.1***	4.35	4.44 ^{ns}	343	358**	30.8	18.4***	10.2	8.7*
SE		1.7		2.6		0.92		13		6.6		1.6
LSD (P=0.05)		3.4		5.1		1.83		27		13.0		3.2

^ans, *, **, and *** indicate that differences between open field and greenhouse environments are non-significant, or significant at p <0.05, <0.01, and <0.001, respectively.

Principal components analysis

The first and second principal components in the PCA analysis accounted for 24.3% and 13.9% of the total variation, respectively (Table 7). The first principal component was positively correlated with several descriptors that had higher values under the OF environment such as Foliage density, Style position, Style hairiness, Fruit width, Easiness of fruit to detach from pedicel, Fruit shoulder shape, Width of pedicel scar, and Yield (Tables 3 and 4), and negatively to descriptors that had lower values under OF environment such as Leaf attitude, Pedicel length, Pedicel length from abscission layer, Fruit blossom end shape, Fruit shape, Daily moisture loss, Dry matter, Soluble solids, Glucose, and Ascorbic acid, but also with Colour difference with true red and Taste index (Table 7) which although had higher values under OF, the relative differences between both environments were small (Tables 3, 4, 5 and 6). The second principal component (Table 7) was positively correlated with several descriptors that had lower values under the OF environment such as Inflorescence type, Number of flowers per inflorescence, Pedicel length, Size of corky area around pedicel scar, and Fructose (Tables 3 and 6), and negatively with descriptors that had higher values under the OF environment such as Plant size, Degree of leaf dissection, Fruit size homogeneity, Fruit firmness, Lycopene and β -carotene (Tables 3, 4 and 6), but also to Plant growth type, Titratable acidity, Taste index for which no significant differences existed between environments (Tables 3 and 5), or to Soluble solids, which although had higher values under GH the relative differences among environments were small (Table 5).

Table 7. Correlation coefficients between morphological, agronomic, chemical properties, and chemical composition descriptors and first and second principal components obtained from a multivariate principal components analysis. Correlation values with absolute values ≥ 0.15 are presented in bold font.

Descriptors	First principal component	Second principal component
<i>Morphological descriptors</i>		
Plant growth type	-0.070	-0.155
Plant size	0.047	-0.271
Stem pubescence intensity	0.060	-0.013
Foliage density	0.208	-0.101
Number of leaves under 1st inflorescence	-0.096	-0.074
Leaf attitude	-0.176	0.128
Degree of leaf dissection	0.092	-0.187
Anthocyanin colouration of leaf veins	0.008	0.130
Inflorescence type	-0.064	0.271
Number of flowers per inflorescence	-0.058	0.151
Style position	0.181	0.093
Style hairiness	0.198	0.014
Exterior colour of immature fruit	0.076	-0.037
Presence of green (shoulder) trips on the fruit	-0.035	0.104
Intensity of greenback (shoulder)	-0.002	0.056
Fruit size homogeneity	-0.050	-0.216
Fruit length	0.076	0.091
Fruit width	0.244	0.096
Easiness of fruit to detach from pedicel	0.166	-0.052
Fruit shoulder shape	0.240	-0.019
Pedicel length	-0.223	0.175
Pedicel length from abscission layer	-0.220	-0.061
Width of pedicel scar	0.204	-0.135
Size of corky area around pedicel scar	-0.061	0.276
Skin colour of ripe fruit	-0.123	-0.127
Fruit blossom end shape	-0.223	-0.149
Radial cracking	-0.016	0.078
Fruit fasciation	-0.006	0.057
<i>Agronomic descriptors</i>		
Fruit weight (g)	0.240	0.038
Fruit shape	-0.204	-0.050

Descriptors	First principal component	Second principal component
Fruit firmness (Shore A standard units)	0.079	-0.221
Colour difference with true red	-0.208	0.087
Yield (kg/plant)	0.219	-0.052
Daily moisture loss (%)	-0.208	0.087
<i>Chemical properties descriptors</i>		
Dry matter (%)	-0.213	-0.149
Soluble solids (%)	-0.192	-0.222
pH	-0.076	-0.199
Titrateable acidity (%)	0.047	0.070
Taste index	-0.163	-0.286
Antioxidant activity (mM TE/g)	-0.132	0.022
<i>Chemical composition descriptors</i>		
Glucose (g/kg)	-0.213	0.124
Fructose (g/kg)	-0.028	0.291
Citric acid (g/kg)	0.039	0.045
Ascorbic acid (mg/kg)	-0.152	-0.092
Lycopene (mg/kg)	0.063	-0.187
β -carotene (mg/kg)	-0.015	-0.198
Variance explained (%)	24.3	13.9

The projection of the 12 accessions grown in the OF and GH environments in the PCA plot clearly reveals a separation between both environments (Figure 2). In this way, accessions grown under OF conditions plot in a diagonal area of the graph that spans values going from a combination of intermediate values for the first component and low ones for the second component to a combination of high values for the first component and intermediate ones for the second component (Figure 2). Regarding accessions grown under GH conditions they also plot in a diagonal area of the graph with comparatively lower values for the first component and higher ones for the second. Also, the PCA plot reveals that within each of the environments, accessions plot in analogous areas of the scatterplot. In this way, accessions with lowest values for first and second components under OF conditions ('Punteta', 'Moradeta', and 'SEL1') are also the ones with lowest values for these components under GH conditions. The same occurs with accessions having highest values for both components, or intermediate values (Figure 2). Amazingly, under both conditions accessions of the same varietal type plot in similar areas of the plot. For example, in each of the environments, the three varieties from the "Tomata de Penjar" Quality Mark plot together and the same occurs for the four varieties from the Balearic Islands. Also, each of the two commercial selections plot together, and the same occurs for the two commercial hybrids (Figure 2)

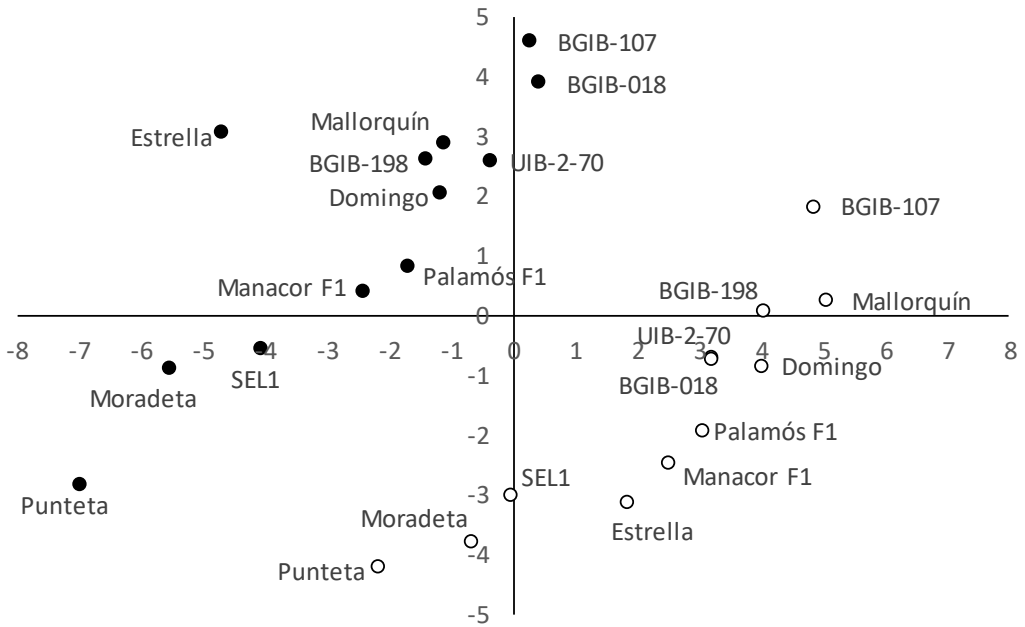


Figure 2. First (*x*-axis) and second (*y*-axis) principal components scatterplot, based on 46 variable descriptors (28 morphological, 6 agronomic, 6 chemical properties, and 6 chemical composition) in 12 long shelf-life tomato varieties grown under open field (OF; open circles) and greenhouse (GH; solid circles) environments. The first and second principal components account for 24.3% and 13.9% of the total variation. Each variety is indicated by its code

Discussion

Traditional tomato long shelf-life varieties carrying the *alc* mutation are well adapted to open field cultivation and have specific characteristics that make them of special interest, like their tolerance to drought, extended postharvest conservation period without refrigeration, and high contents in soluble solids (Mutschler et al., 1992; Conesa et al., 2014; Figàs et al., 2015b, Fullana-Pericàs et al., 2017, 2018). Our work includes a comprehensive characterization involving a considerable number of different types of descriptors, both in open field cultivation, which is the cultivation environment where these varieties have been traditionally grown (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), and also under greenhouse cultivation, which is becoming increasingly popular for producing this varietal type, and for which little information is available on the performance of this long-shelf-life type.

Several descriptors that were uniform across the long shelf-life accessions and cultivation environments correspond to traits of taxonomic interest that distinguish tomato from some wild relatives, like the anther dehiscence type or presence of fruit pubescence (Peralta et al., 2008), traits that were introgressed from wild species into some modern tomato cultivars, like the presence of jointless pedicel (Rick, 1967), or that appear as a physiological disorder caused by environmental factors or inappropriate cultivation practices, like the appearance of concentric cracking (Pascual et al., 2000). The two plant traits for which all the variation observed was caused by the environmental effect (Plant growth type and Skin colour of the ripe fruit) are monogenic and have a high

penetration and expressivity (Carmen-Goren et al., 2003; Ballester et al., 2010), and also confirm that there are *alc* long shelf-life varieties with determinate growth and that have colourless skin (i.e., resulting in pink coloured fruits). The fact that the varietal effect was, in general, the largest one for morphological descriptors is important, as morphological descriptors used for characterizations should have a high heritability, and in consequence a low environmental influence affecting them (Figàs et al., 2018). For the rest of descriptors, with the exception of fruit weight and fruit shape, which are largely genetically regulated (Panthee et al., 2013; El-Gabry et al., 2014; Monforte et al., 2014), as well as for dry matter, soluble solids and taste index, the cultivation environment, variety x environment, or residual effects were the most important contributors. This indicates that the cultivation environment has a great importance in the expression of most agronomic, chemical properties, and chemical composition traits. In other works, it has been found that environmental effects together with their interaction with variety have a large effect on these traits in tomato (Kuti and Konuru, 2005; Ortiz et al., 2007; Roselló et al., 2010; Adalid et al., 2012; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2018).

The characterization of the different types of descriptors revealed that a high diversity exists among the different materials of *alc* long shelf-life tomatoes, as for most of the descriptors a wide range of variation was observed. This is in agreement with other works have found high diversity for morphological and agronomic descriptors, molecular markers, and chemical properties and composition traits in this varietal type (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), suggesting that the genetic background of *alc* tomatoes is large. This indicates that there are ample opportunities for selection within this varietal type.

The cultivation environment had a significant effect for many morphological traits, which was expected due to the great differences among OF and GH environments for tomato cultivation (Csizinsky, 2005; Peet and Welles, 2005). Among the traits affected, fruits from GH cultivation were easier to detach from the pedicel than those from OF. This is important in this varietal group, as fruits are on many occasions threaded in strings (Casals et al., 2012; Mercati et al., 2015) and berries have to be firmly attached to the pedicel to avoid fruits breaking off to the ground, which results in fruit losses. Therefore, varieties grown under GH conditions might be less appropriate for being threaded than those from the OF. Also, fruits from GH are more pointed than those of OF. In this respect, environmental differences can effect hormonal balances, and high auxin levels can induce pointed fruits (Abad and Monteiro, 1989; Srivastava and Handa, 2005). Again, pointed fruits can be a disadvantage of GH cultivation, as it may increase the risk of fruit damage and bruising during harvesting and handling, although some long shelf-life varieties (like ‘Punteta’) have pointed fruits. Higher fruit fasciation, also an unfavourable traits, in GH might be caused by suboptimal environmental conditions that result in fasciated flowers (Adams et al., 2001).

Fruits of *alc* long shelf-life tomato were relatively small when compared with other traditional tomato varieties (Bota et al., 2014; Figàs et al., 2015a), which is probably due to the negative correlation between fruit weight and postharvest shelf-life in this varietal type (Casals et al., 2014), and were slightly flattened, except the ‘Punteta’ variety, which was rounded. The fact that fruits from OF were larger than those of the GH could mean that the former could be less appropriate for postharvest conservation; however, the fact that OF fruits are generally more firm than

those of GH indicates that the negative impact on postharvest conservation of the larger fruit size of OF fruits can be compensated by their higher firmness. Also, the fact that in most cases higher yields were obtained in the OF than under GH suggests a better adaptation of this varietal type to the traditional OF conditions, where it evolved and was selected (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015). Regarding postharvest weight loss, it was low compared to standard tomato varieties (Javanmardi and Kubota, 2006; Pagno et al., 2017), and it was higher in fruits grown in GH, which is an indication of a better postharvest performance of OF fruits.

The dry matter and soluble solids content was high, compared to most standard tomato varieties (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b). In this way, we found values of almost 8% for soluble solids in some varieties, suggesting that these materials could be a source of variation for breeding for dry matter and soluble solids content. Amazingly, dry matter and soluble solids values have been higher under GH conditions, which probably is related to the reduced yield under this conditions. In this way, several works indicate that in tomato there is a negative correlation between yield and soluble solids content (Dumas et al., 1994; Favati et al., 2009). pH and titratable acidity values were similar to those found in other works (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b; Sánchez-González et al., 2015), while in most long shelf-life varieties taste index was considerably higher than 1, which is considered as the optimal value for an equilibrated taste for salad tomato (Návez et al., 1999), and suggesting that fruits have an excess of soluble solids. Figàs et al. (2015b) also found that this varietal type, in general, has taste index values higher than 1. Traditional long shelf-life

tomatoes carrying the *alc* mutation are generally used in a different way than the standard salad tomato (Casals et al., 2012; Romero del Castillo et al., 2014) and in most cases are used for rubbing into bread or used for cooking. Therefore, the different uses, compared to standard tomato used for being consumed raw in salads, probably have led to a selection of fruits with higher taste index in this varietal type. The fact that the antioxidant activity under GH conditions has been higher than under OF may be relevant for consumers (Diamanti et al., 2011), and also the higher antioxidant activity might contribute to an extended postharvest life (Zhang et al., 2013).

The levels of the chemical compounds analyzed here are similar to those obtained in other works for tomato in general (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Galiana-Balaguer et al., 2006; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b; Sánchez-González et al., 2015) and also for this particular varietal type (Casals Missio et al. 2015, Figàs et al., 2015b), and reveal a considerable variation in the materials evaluated. As occurred for dry matter and soluble solids content, the average glucose and fructose levels were higher under GH conditions, which was expected, as sugars are a major constituent of soluble solids in tomato (Beckles, 2012; Figàs et al., 2015b). In the same way, as observed for titratable acidity, no differences in average values were observed for citric acid, the major organic acid in tomato (Galiana-Balaguer et al., 2006). Also, like antioxidant activity, ascorbic acid content was higher under GH conditions, although similarly to what was found for cherry tomatoes, lycopene was higher under OF conditions (Kuti and Konuru, 2005). Given the much higher levels of ascorbic acid than those of carotenoids, our results provide an indication that in tomato ascorbic acid may have a greater contribution than lycopene

to the total antioxidant activity of Mediterranean traditional long shelf-life tomato varieties (Cano et al., 2003; Sánchez-Moreno et al., 2006; Figàs et al., 2015b). The fact that the norm of reaction for antioxidant compounds against the cultivation environment of the varieties tested was very different, so that some varieties had higher levels of the antioxidant compounds under GH than under OF, indicates that the GxE interaction can be exploited for long shelf-life materials with higher levels of antioxidants in either OF or GH conditions.

The PCA analysis clearly separated the combinations of variety and cultivation environment according to the cultivation environments. In a former work (Figàs et al., 2018), in which several varietal types were evaluated, we found that the PCA grouped the accessions according to varietal group and not to cultivation environment. However, within varietal group such distinction was unclear (Figàs et al., 2018). In our case, in which all materials belong to a single cultivar group, the clear separation for environment in the PCA indicates a major impact of the cultivation environment (open field vs. greenhouse) on characteristics of the plants and fruits of this varietal type (Csizinsky, 2005; Peet and Welles, 2005). However, it is also evident from the PCA that the distribution of accessions under OF or GH conditions follow a similar pattern indicating a good correlation of the global characteristics of individual varieties in different environments. The fact that individual varieties from each origin or varietal type cluster in the same area of the plot relative to other varieties in both OF and GH conditions reveal that a phenotypic differentiation may exist within this varietal group, which may be exploited for selection and breeding (Panthee et al., 2013; Scott et al., 2013). Also, importantly, the commercial selections and hybrids carrying the *alc* allele are not in the

extremes of distribution of the PCA scatterplots for either OF or GH, revealing that they have similar characteristics to those of the landraces.

As observed in other works (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015; Figàs et al., 2015a, 2015b), our results reveal that a large diversity exists in the traditional long shelf-life tomato varietal group characterized by carrying the *alc* allele, with the largest diversity being present in the landraces. Compared to the traditional OF cultivation of the landraces of this varietal group, cultivation under greenhouse had a high impact on morphological, agronomic, chemical properties and chemical composition. Generally GH cultivation had a negative impact on some morphological traits, like a greater easiness of fruit to detach from pedicel, which is important for the traditional threading of the fruits in strings for hanging (Casals et al., 2012), in productive traits (e.g., lower yield and firmness and higher postharvest loss), and in lycopene and β -carotene contents. However, it also increased dry matter, soluble solids, antioxidant activity, and glucose, fructose, and ascorbic acid contents. Although large GxE interaction could be exploited for selection for adaptation to greenhouse of this varietal type (Scott et al., 2013), our results suggest that specific breeding programmes for selecting long shelf-life materials carrying the *alc* mutation of the traditional “de colgar”, “de penjar”, “de ramellet”, or “da serbo” specifically adapted to greenhouse cultivation are needed. In this respect, the diversity present in the landraces will be of great relevance for developing this new generation of varieties. Until these varieties are obtained, the evaluation of landraces and commercial selections and hybrids may allow identifying materials with better characteristics for greenhouse cultivation.

Acknowledgements

This work was supported by Associació de Productors i Comercialitzadors de la Tomata de Penjar d'Alcalà de Xivert. Funding was also received from the TRADITOM (Traditional tomato varieties and cultural practices: a case for agricultural diversification with impact on food security and health of European population) and G2P-SOL (Linking genetic resources, genomes and phenotypes of Solanaceous crops) projects. TRADITOM and G2P-SOL projects have received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreements No 634561 (TRADITOM) and No 677379 (G2P-SOL).

References

- Abad, M., Monteiro, A.A. (1989). The use of auxins for the production of greenhouse tomatoes in mild-winter conditions: A review. *Sci. Hort.* 38, 167-192. doi: 10.1016/0304-4238(89)90064-2
- Adams, S.R., Cockshull, K.E., Cove, C.R.J. (2001). Effect of the temperature on growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88, 869-877. doi: 10.1006/anbo.2001.1524
- Adalid, A.M., Roselló, S., Valcárcel, M., Nuez, F. (2012). Analysis of the genetic control of β -carotene and L-ascorbic acid accumulation in an orange-brownish wild cherry tomato accession. *Euphytica* 184, 251-263. doi: 10.1007/s10681-011-0584-x
- Ballester, A.R., Molthoff, J., de Vos, R., Hekkert, B.L., Orzaez, D., Fernández-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: Dereglated expression of the gene encoding transcription factor S1MYB12 leads to pink tomato fruit color. *Plant Physiol.* 152, 71-84. doi: 10.1104/pp.109.147322

- Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 63, 129-140. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.05.016
- Bota, J., Conesa, M.À., Ochogavia, J.M., Medrano, H., Francis, D.M., Cifre, J. (2014). Characterization of a landrace collection for Tomàtiga de ramellet (*Solanum lycopersicum* L.) from the Balearic Islands. *Genet. Resour. Crop Evol.* 61, 1131-1146. doi: 10.1007/s10722-014-0096-3
- Cano, A., Acosta, M., Arnao, M.B. (2003). Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biol. Technol.* 28, 59-65. doi: 10.1016/S0925-5214(02)00141-2
- Carmen-Goren, L., Liu, Y.S., Lifschitz, E., Zamir, D. (2003). The *SELF-PRUNING* gene family in tomato. *Plant Mol. Biol.* 52, 1215-1222. doi: 10.1023/B:PLAN00000004333.96451.11
- Casals, J., Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Beltrán, J., Casañas, F., Nuez, F. (2011). Long-term postharvest evolution of tomatoes with the alcobaça (*alc*) mutation. *Eur. Food Res. Technol.* 233, 331-342. doi: 10.1007/s00217-011-1517-6
- 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. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59, 219-229. doi: 10.1007/s10722-011-9677-6
- Casals Missio, J., Marti Renau, R., Casañas Artigas, F., Cebolla Cornejo, J. (2015). Sugar-and-acid profile of Penjar tomatoes and its evolution during storage. *Sci. Agric.* 72, 314-321. doi: 10.1590/0103-9016-2014-0311
- Conesa, M.À., Galmés, J., Ochogavía, J.M., March, J., Jaume, J., Martorell, A., Francis, D.M., Medrano, H., Rose, J.K.C., Cifre, J. (2014). The postharvest tomato fruit quality of long shelf-life Mediterranean landraces is substantially influenced by irrigation regimes. *Postharvest Biol. Technol.* 93, 114-121. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.02.014

- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Sci. Hort.* 162, 150-164. doi: 10.1016/j.scienta.2013.07.044
- Cortés-Olmos, C., Valcárcel, J.V., Roselló, J., Díez, M.J., Cebolla-Cornejo, J. (2015). Traditional Eastern Spanish varieties of tomato. *Sci. Agric.* 5, 420-431. doi: 10.1590/0103-9016-2014-0322
- Csizinsky, A.A. (2005). Production in the open field, in *Tomatoes*, ed E. Heuvelink (Wallingford, UK: CABI), 237-256.
- Diamanti, J., Battino, M., Mezzetti, B. (2011). Breeding for fruit nutritional and nutraceutical quality, in *Breeding for Fruit Quality*, eds M.A. Jenks, and P.J. Bebeli: (Hoboken, NJ, USA John Wiley & Sons), 61-80. doi: 10.1002/9780470959350.ch3
- Dumas, Y., Leoni, C., Portas, C.A.M., Bièche, B. (1994). Influence of water and nitrogen availability on yield and quality of processing tomato in the European Union countries. *Acta Hort.* 376, 185-192. doi: 10.17660/ActaHortic.1994.376.23
- El-Gabry, M.A.H., Solieman, T.I.H., Abido, A.I.A. (2013). Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Sci. Hort.* 167, 153-157. doi: 10.1016/j.scienta.2014.01.010
- Fairchild, D. (1927). The tomato terraces of Bañalbufar: An agricultural monopoly built on a single variety of tomato. *Heredity* 18, 245-251. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a102861
- Favati, A., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T., Candido, V. (2009). Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Sci. Hort.* 122, 562-571. doi: 10.1016/j.scienta.2009.06.026
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández-de-Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015a). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62, 189-204. doi: 10.1007/s10722-014-0142-1
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fita, A., García-Martínez, M.D., Casanova, C., Borràs, D., Plazas, M., Andújar, I., Soler, S. (2015b).

- Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chem.* 187, 517-524. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.083
- Figàs, M.R., Prohens, J., Casanova, C., Fernández-de-Córdova, P., Soler, S. (2018). Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions. *Sci. Hort.* 238, 107-115. doi: 10.1016/j.scienta.2018.04.039
- Fullana-Pericàs, M., Conesa, M.À., Soler, S., Ribas-Carbó, M., Granell, A., Galmés, J. (2017). Variations of leaf morphology, photosynthetic traits and water-use efficiency in Western-Mediterranean tomato landraces. *Photosynthetica* 55, 121-133. doi: 10.1007/s11099-016-0653-4
- Fullana-Pericàs, M., Ponce, J., Conesa, M.À., Juan, A., Ribas-Carbó, M., Galmés, J. (2018). Changes in yield, growth and photosynthesis in a drought-adapted Mediterranean tomato landrace (*Solanum lycopersicum* ‘Ramellet’) when grafted onto commercial rootstocks and *Solanum pimpinellifolium*. *Sci. Hort.* 233, 70-77. doi: 10.1016/j.scienta.2018.01.045
- Galiana-Balaguer, L., Roselló, S., Nuez, F. (2006). Characterization and selection of balanced sources of variability for breeding tomato (*Lycopersicon*) internal quality. *Genet. Resour. Crop Evol.* 53, 907-923. doi: 10.1007/s10722-004-6696-6
- IPGRI (1996). *Descriptors for Tomato (Lycopersicon spp.)*. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Javanmardi, J., Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 151-155. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.03.008
- Kuti, J.O., Konuru, H.B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 85, 2021-2026. doi: 10.1002/jsfa.2205
- Maamar, B., Maatoug, M, Iriti, M., Dellal, A., Hammou, M.A. (2015). Physiological effects of ozone exposure on de Colgar and Rechaiga

II tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 12124-12132. doi: 10.1007/s11356-015-4490-y

Marín, J. (2015). *Portagrano: Vademecum de Semillas – Variedades Hortícolas*. El Ejido, Spain: José Marín Rodríguez.

Mercati, F., Longo, C., Poma, D., Aratini, F., Lupini, A., Mammano, M.M., Fiore, M.C., Abenavoli, M.R., Sunseri, F. (2015). Genetic variation of an Italian long shelf-life tomato (*Solanum lycopersicon* L.) collection by using SSR and morphological traits. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62, 721-732. doi: 10.1007/s10722-014-0191-5

Monforte, A.J., Diaz, A., Caño-Delgado, A., van der Knaap, E. (2014). The genetic basis of fruit morphology in horticultural crops: lessons from tomato and melon. *J. Expt. Bot.* 65, 4625-4637. doi: 10.1093/jxb/eru017

Mutschler, M.A., Wolfe, D.W., Cobb, E.D., Yourstone, K.S. (1992). Tomato fruit quality and shelf life in hybrids heterozygous for the *alc* ripening mutant. *HortScience* 27, 352-355. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.083

Navez, B., Letard, M., Graselly, D., Jost, J. (1999). Les critères de qualité de la tomate. *Infos-Ctifl* 155, 41-47.

Ortiz, R., Crossa, J., Vargas, M., Izquierdo, J. (2007). Studying the effect of environmental variables on the genotype \times environment interaction of tomato. *Euphytica* 153, 119-134. doi: 10.1007/s10681-006-9248-7

Pagno, C.E., Castagna, A., Trivellini, A., Mensuali-Sodi, A., Ranieri, A., Ferreira, E.A., Rios, A.O., Flores, S.H. (2017). The nutraceutical quality of tomato fruit during domestic storage is affected by chitosan coating. *J. Food Process. Preserv.* 42, e13326. doi: 10.1111/jfpp.13326

Panthee, D.R., Labate, J.A., McGrath, M.T., Breksa A.P., Robertson, L.D. (2013). Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica* 193, 169-182. doi: 10.1007/s10681-013-0895-1

Pascual, B., Maroto, J.V., Sanbautista, A., López-Galarza, S., Alagarda, J. (2000). Influence of watering on the yield and cracking of cherry,

- fresh-market and processing tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75, 171-175. doi: 10.1080/14620316.2000.11511218
- Peet, M.M., Welles, G. (2005). Greenhouse tomato production, in *Tomatoes*, ed E. Heuvelink (Wallingford, UK: CABI), 257-304.
- Peralta, I.E., Spooner, D.M., Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Syst. Bot. Monogr.* 84, 1-186.
- Rick, C.M. (1967). Fruit and pedicel characters derived from Galápagos tomatoes'. *Econ. Bot.* 21, 171. doi: 10.1007/BF02897867
- Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Roselló, S., Nuez, F. (2005). "Heirloom" varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80, 453-460. doi: 10.1080/14620316.2005.11511959
- Romero del Castillo, R., Puig-Rey, M., Biarnés, J., Vilaseca, H., Simó, J., Plans, M., Massanés, T., Casañas, F. (2015). Using trendsetting chefs to design new culinary preparations with the "Penjar" tomato. *J. Culin. Sci. Technol.* 12, 196-214. doi: 10.1080/15428052.2014.880099
- Roselló, S., Adalid, A.M., Cebolla-Cornejo, J., Nuez, F. (2010). Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasms. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1014-1021. doi: 10.1002/jsfa.4276
- Sánchez-González, M.J., Sánchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Porras, M.E., Baeza, E.J., Lorenzo, P. (2015). Influence of pre-harvest factors on quality of a winter cycle, high commercial value, tomato cultivar. *Sci. Hort.* 189, 104-111. doi: 10.1016/j.scienta.2015.03.044
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., Cano, M.P. (2006). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.* 86, 171-179. doi: 10.1002/jsfa.2321
- Scott, J.W., Myers, J.R., Boches, P.S., Nichols, C.G., Angell, F.F. (2013). Classical genetics and traditional breeding, in *Genetics, Genomics and Breeding of Tomato*, ed B.E. Liedl, J.A. Labate, J.R.

Stommel, Slade, A., and C. Kole (Boca Raton, FL, USA: CRC Press), 37-73.

Srivastava, A., Handa, A.K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: A molecular prespective. *J. Plant Growth Regul.* 24, 67-82. doi: 10.1007/s00344-005-0015-0

Tranchida-Lombardo, V., Cigliano, R.A., Anzar, I., Landi, S., Palombieri, S., Colantuono, C., Bostan, H., Termolino, P., Aversano, R., Batelli, G., Cammareri, M., Carputo, D., Chiusano, M.L., Conicella, C., Consiglio, F., D'Agostino, N., De Palma, M., Di Matteo, A., Grandillo, S., Sanseverino, W., Tucci, M., Grillo, S. (2018). Whole-genome re-sequencing of two Italian tomato landraces reveals sequence variations in genes associated with stress tolerance, fruit quality and long shelf-life traits. *DNA Res.* 25, 149-160. doi: 10.1093/dnares/dsx045

Zhang, Y., Butelli, E., De Stefano, R., Schoonbeek, H.J., Magusin, A., Pagliarani, C., Wellner, N., Hill, L., Orzaez, D., Granell, A., Jones, J.D.G., Martin, C. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Curr. Biol.* 23, 1094-1100. doi: 10.1016/j.cub.2013.04.072

DISCUSIÓN

1.- Caracterización de variedades tradicionales de tomate valencianas.

1.1.- Caracterización de una colección de variedades tradicionales valencianas usando descriptores convencionales y la herramienta fenómica Tomato Analyzer.

La colección estudiada fue muy variable tanto para los descriptores convencionales como para los del Tomato Analyzer, confirmándose que la región mediterránea constituye un centro de diversidad secundario para el tomate (Mazzucato et al. 2008, Terzopoulos and Bebeli 2010, Blanca et al. 2012, García-Martínez et al. 2013). Los únicos descriptores que se mostraron monomórficos en la colección evaluada fueron aquellos utilizados en la distinción entre materiales silvestres y cultivados (e.g., color de la corola, tipo de corola, dehiscencia del polen) o los correspondientes a introgresiones desde especies silvestres en materiales mejorados (e.g., pedicelo “jointless”) (Díez and Nuez 2008).

Los descriptores convencionales permitieron detectar grandes diferencias entre entradas para caracteres vegetativos o agronómicos de interés en tomate. Las grandes diferencias encontradas en la colección para el tamaño de planta, número de días a floración, número de días a maduración o producción por planta indican que la selección de entradas con una mayor combinación de caracteres productivos puede ser una estrategia para desarrollar materiales más productivos. Distintos estudios (Gómez et al. 2001, Bletsos et al. 2002, Casals et al. 2011) muestran que la selección entre variedades locales de tomate de un mismo cultivar puede resultar en una mejora de la producción, calidad o ambos. Como ha ocurrido en otros cultivos, la ejecución de programas de selección

participativos puede incrementar la eficiencia en la selección para caracteres relacionados con la productividad (Lammerts van Bueren et al. 2011).

Aunque se encontraron muchas diferencias en la colección para descriptores convencionales, estos se han mostrado deficientes para poder clasificar las entradas evaluadas en tipos varietales. (Rao et al. 2006, Mazzucato et al. 2010, Cebolla-Cornejo et al. 2013). El uso de la herramienta Tomato Analyzer permitió obtener datos de distintos caracteres de morfología de fruto no relacionados con los descriptores convencionales (Brewer et al. 2006, Gonzalo and van der Knaap 2008, Rodríguez et al. 2010a, 2010b, Strecker et al. 2010). Esto hizo posible realizar una descripción precisa de la morfología del fruto y detectar diferencias de morfología del fruto entre entradas.

La caracterización convencional o con el Tomato Analyzer permitió detectar distintas diferencias entre tipos varietales para determinados caracteres. Sin embargo, la mayor parte de las diferencias entre tipos varietales obedecieron a caracteres de frutos. Esto era esperable, teniendo en cuenta que los tipos varietales en tomate se establecen de acuerdo a la morfología del fruto principalmente (Díez and Nuez 2008). Algunos de estos tipos se distinguieron fácilmente en base a descriptores convencionales o de Tomato Analyzer. Es el caso de las entradas de tipo ‘De Borseta’ (frutos aperados), ‘Cherry’ (frutos muy pequeños), ‘De Penjar’ (pequeño tamaño, mutación *alc*), ‘Plana’ (frutos aplanados de gran tamaño), y ‘De Pruna’ (frutos cilíndricos). Sin embargo, para el tipo ‘Cor’, ‘Redona’, y ‘Valenciana’ la situación fue diferente. Estos tres grupos incluyeron entradas que presentaron un rango continuo de variación, desde entradas con un fruto completamente Redondo (‘Redona’), pasando por

acorazonados (Cor), hasta acorazonados con un terminal de floración apuntado ('Valenciana'). La adscripción de una entrada en uno u otro grupo puede ser complicada, ya que los límites entre estos tres tipos son difusos. Para estos tres grupos solo se encontraron diferencias significativas en uno o dos descriptores convencionales y ninguno de ellos era un carácter de fruto. Cuando se consideran los caracteres de Tomato Analyzer, se encontró que el tipo 'Valenciana' fue significativamente diferente del tipo 'Cor' y 'Redona' en 5 y 8 descriptores respectivamente. Esto nos sugiere que el Tomato Analyzer es capaz de distinguir entre tipos de cultivares que no pueden ser diferenciados claramente mediante caracteres morfológicos (Mazzucato et al. 2010, Panthee et al. 2013). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tipos 'Cor' y 'Redona' para ninguno de los caracteres del Tomato Analyzer, indicando que ambos tipos varietales son muy similares en su morfología y difíciles de distinguir. Esta situación, ha sido también observada en otros tipos varietales de tomate, como el 'San Marzano' (Rao et al. 2006) y 'A pera Abruzzese' (Mazzucato et al. 2010).

El análisis de componentes principales multivariante usando de forma combinada descriptores convencionales y de Tomato Analyzer permitió la separación de las entradas evaluadas según los 8 tipos varietales, a diferencia de otros estudios que utilizaron solo descriptores convencionales (Cebolla-Cornejo et al. 2013). En nuestro caso, a pesar de la gran similitud entre los grupos 'Cor' y 'Redona', la mayor parte de las entradas de los grupos se situaron en áreas separadas claramente delimitadas. Es de destacar, como el tipo 'Cor' se situó entre los grupos 'Redona' y 'Valenciana'. Esto confirma que el análisis PCA de los datos morfológicos es una herramienta robusta para la clasificación de entradas

de variedades tradicionales de tomate en tipos varietales (Mohammadi and Prasanna 2003).

La colección evaluada incluyó tamaños de fruto muy diferentes, desde frutos muy pequeños del tipo ‘Cherry’ hasta frutos de gran tamaño del tipo ‘Plana’ o ‘Valenciana’. Este rango de variación para el tamaño del fruto es común en colecciones de variedades tradicionales (Rodríguez-Burruezo et al. 2005, Panthee et al. 2013). Algunas de las variedades evaluadas tuvieron frutos muy grandes, pesos medios de fruto de más de 500 g. Estos frutos de gran tamaño están experimentando una demanda creciente en los mercados locales al estar asociados, por parte del consumidor, a variedades tradicionales y pueden ser de interés para productores locales. Por otra parte, aunque las variedades locales del tipo ‘Cherry’ no son frecuentes en València, si son muy apreciadas en regiones de Italia o Grecia (Andreakis et al. 2004, Terzopoulos and Bebeli 2010). El incremento de la demanda de este tipo de variedades puede representar también una oportunidad comercial en España (Causse et al. 2010).

Como también se ha observado en otras colecciones de variedades tradicionales de tomate (Rodríguez-Burruezo et al. 2005, Mazzucato et al. 2008, Terzopoulos and Bebeli 2010, Cebolla-Cornejo et al. 2013, Panthee et al. 2013), se han encontrado grandes diferencias en morfología de frutos. Sin embargo, a pesar de la gran variación encontrada, para determinados caracteres la variación ha sido limitada. Por ejemplo, todas las variedades han presentado frutos de color rojo o Rosado, no encontrándose frutos de otros colores. Esto podría ser debido a la preferencia por los frutos rojos en las zonas de donde provenían las entradas que forman parte de la colección evaluada.

Los resultados obtenidos muestran que la combinación del uso de descriptores convencionales y del Tomato Analyzer útil para el estudio de las relaciones y de las características distintivas entre los tipos de cultivares de las variedades tradicionales de tomate. Incluso cuando algunos de los tipos son muy parecidos morfológicamente (e.g., ‘Cor’, ‘Redona’, y ‘Valenciana’) ha sido posible separarlos mediante un análisis de componentes principales. La caracterización detallada de la forma del fruto mediante el Tomato Analyzer puede ser de gran ayuda para la delimitación morfológica de tipos varietales muy parecidos. Teniendo en cuenta que los análisis DUS están basados solo en la caracterización morfológica (UPOV, 2002), esta información es muy útil para la tipificación, clasificación, protección, registro y valoración de las variedades locales de tomate.

1.2.- Caracterización de caracteres de composición relacionados con la calidad organoléptica y funcional para la diferenciación, selección y valorización de variedades locales de tomate de diferentes tipos varietales.

La gran diversidad en caracteres de composición relevantes para el sabor y calidad nutricional encontrados en la colección de variedades tradicionales evaluadas correspondió con una amplia variabilidad morfológica en la misma (Figàs et al., 2015). Nuestros datos están en concordancia con otros estudios sobre la diversidad de caracteres de composición química en variedades locales de tomate (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2014) y revelan que las variedades locales son altamente

variables para los caracteres de composición, y por tanto, susceptibles de selección.

Los niveles medios para los caracteres evaluados son generalmente comparables a otros estudios en tomate (Fernández-Ruiz et al., 2004; Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Ilahy et al., 2011; Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2014). Los valores algo más grandes de fenoles totales obtenidos por nosotros comparados con otros trabajos (Ilahy et al., 2011; Cortés-Olmos et al., 2014) son probablemente debidos a que nosotros expresamos los resultados en equivalentes de ácido clorogénico, que es el compuesto fenólico mayoritario en tomate (Siddiqui et al., 2015), en lugar del más comúnmente usado que es el ácido gálico (Ilahy et al., 2011) o ácido cáfeico (Cortés-Olmos et al., 2014). El ácido clorogénico tiene una actividad antioxidante similar al ácido cafeico (Rice-Evans et al., 1997), pero tiene un mayor peso molecular, y esto puede explicar los mayores valores obtenidos por nosotros. El valor medio del índice de sabor, el cual está relacionado con el ratio entre los sólidos solubles y la acidez titulable, tuvo un valor superior a 1. Indicando que la mayor parte de las variedades analizadas pueden ser consideradas como sabrosas (Navez et al., 1999). Probablemente, el hecho de que las variedades fueron cultivadas al aire libre durante el verano, bajo condiciones que favorecen la producción de frutos con una buena calidad, haya contribuido a alcanzar valores más elevados de índice de sabor (Cebolla-Cornejo et al., 2011). Con la excepción del pH, diferencias de varias veces han sido observadas para todos los caracteres estudiados. Incluso en el caso del pH, las diferencias (0,56 unidades) pueden ser consideradas como grandes, teniendo en cuenta que una diferencia en una unidad de pH representa 10 veces mayor concentración en iones H⁺. Los

caracteres con la mayor variación fenotípica y genotípica fueron los contenidos en licopeno y β -caroteno, sugiriendo que se pueden lograr importantes avances en estos caracteres mediante selección en la colección estudiada (Panthee et al., 2013). Adicionalmente a su interés por sus propiedades funcionales y bioactivas (Roccioni et al., 2009; Keikel et al., 2011), estos dos carotenoides son determinantes para el color del fruto (Siddiqui et al., 2015). En particular elevados niveles de licopeno están asociados con una mayor intensidad del color rojo (Hyman et al., 2004), y una selección de entradas con un mayor contenido en licopeno puede resultar en un valor añadido (Ilahy et al., 2011).

Los tipos varietales ‘Cherry’ y ‘De Penjar’ un perfil de composición media diferente del resto de tipos, con generalmente mayores niveles de materia seca, sólidos solubles, acidez titulable, índice de sabor, β -caroteno, ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante. Es bien conocido que los tomates tipo ‘Cherry’ normalmente son más sabrosos que los tomates de tamaño estándar (Zanor et al., 2009). El hecho de que el tamaño del fruto y la producción por planta en los tomates ‘Cherry’ son menores que en las variedades de tamaño normal es probablemente la principal razón para los mayores niveles de compuestos funcionales observados en este tipo varietal (Panthee et al., 2013). En cuanto al tipo ‘De Penjar’, este se caracteriza por la presencia de la mutación *alc* (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014), la cual interfiere con la maduración y confiere larga vida (Vrebalov et al., 2002; Bota et al., 2014). Los frutos del tipo ‘De Penjar’ en término medio, tienen un menor tamaño de fruto que los otros tipos varietales, como ‘De Borseta’, ‘Cor’, ‘Plana’, ‘Redona’ y ‘Valenciana’ (Figàs et al., 2015). Nuestros resultados apoyan observaciones previas indicando que la mutación *alc*,

adicionalmente a un retraso en la maduración del fruto, tiene efectos pleiotrópicos en la fisiología de la planta y también en la composición del fruto (Vrebalov et al., 2002). Un efecto negativo de la mutación *alc* en la composición es una reducción en la concentración de licopeno (Vrebalov et al., 2002). Por otra parte, la elevada actividad antioxidante en los tomates del tipo ‘De Penjar’ podría estar jugando un papel en su larga vida. Se ha detectado una importante variación para los caracteres estudiados dentro de cada tipo varietal. Otros estudios han encontrado resultados similares (Cortés-Olmos et al., 2014). En este sentido, con la excepción del tipo ‘Cherry’, se observó un solape completo entre tipos varietales para todos los caracteres evaluados. Esto indica que la selección de entradas dentro de tipo varietal para un mayor contenido en compuestos implicados en el sabor o calidad nutricional es factible. Esto es de gran relevancia para la valorización de variedades locales asociadas a interesantes características de calidad. (Hurtado et al., 2014), así como para la identificación de fuentes de variación para la mejora (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Cortés-Olmos et al., 2014). A este respecto, las interacciones genotipo \times ambiente (G \times E) pueden ser muy interesantes para los caracteres estudiados (Cebolla-Cornejo et al., 2011; Panthee et al., 2013) y sería interesante abordar más estudios para evaluar la importancia de interacciones G \times E en esta colección.

Se encontraron correlaciones positivas entre materia seca, sólidos solubles, acidez titulable e índice de sabor, ya esperadas, teniendo en cuenta que estos caracteres están correlacionados (Labate et al., 2011; Panthee et al., 2013). Sin embargo, también se encontraron correlaciones positivas entre la mayor parte de estos caracteres y el contenido en β -caroteno, ácido ascórbico y fenoles totales. Esto es muy interesante e

indica que, en la colección evaluada, la selección de entradas con altos valores en caracteres relacionados con el sabor, también serán interesantes por su elevado contenido en compuestos bioactivos o antioxidantes. Los diferentes antioxidantes, con la excepción del licopeno, y de la actividad antioxidante estuvieron también positivamente correlacionados. El ácido ascórbico y los fenoles totales presentaron las correlaciones más elevadas con la actividad antioxidante. A este respecto, entre los antioxidantes las concentraciones mayores correspondieron a los fenoles totales, seguida por el ácido ascórbico. Teniendo en cuenta que la actividad antioxidante de los principales fenoles del tomate (ácido clorogénico y quercitina) es mayor que la del ácido ascórbico (Rice-Evans et al., 1997) y que los niveles de carotenoides son comparativamente mucho menores que los de los fenoles y ácido ascórbico, nuestros resultados sugieren la idea de que la mayor contribución a la actividad antioxidante del tomate corresponde a los fenoles (Toor and Savage, 2005).

El análisis PCA efectuado confirma los resultados obtenidos con los métodos univariantes y permitió una adecuada separación de las entradas tipo ‘Cherry’ y la mayor parte de las del tipo ‘De Penjar’ del resto de las entradas de la colección. Estos resultados contradicen los datos morfológicos, los cuales indican una separación clara de los tipos varietales estudiados (Figàs et al., 2015). A este respecto, los tipos varietales de tomate suelen establecerse a partir de datos morfológicos más que a partir de datos de composición química (Díez and Nuez, 2008). No obstante, los resultados también revelan que los tipos ‘De Penjar’ y ‘Valenciana’, los más característicos de València (Figàs et al., 2015), se separan claramente con un bajo grado de solapamiento en el PCA, indicando que ambos tipos tienen perfiles de composición nutritiva

diferentes, lo cual es importante en las estrategias de venta (Oltman et al., 2014). A este respecto, estos dos tipos varietales tienen usos diferentes, el tipo ‘Valenciana’ usado como tomate de ensalada, mientras el tipo ‘De Penjar’ se utiliza principalmente para restregar sobre pan (Casals et al., 2012; Bota et al., 2014). El análisis PCA también revela que existe una gran variación en el perfil de composición entre las entradas del tipo ‘De Penjar’. Esto es debido probablemente al hecho de que el tipo varietal ‘De Penjar’ es un conglomerado de entradas portadoras de la mutación *alc* introgresada en diferentes fondos genéticos (Casals et al., 2012), más que un grupo de entradas con un fondo genético común.

2.- Selección y mejora.

2.1.- Estudio de la distribución de cuajado en distintas selecciones masales del tomate ‘Valenciana d’El Perelló’.

Las tres selecciones de tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ muestran como características morfológicas más diferenciales respecto de la variedad comercial la presencia de inflorescencias no uníparas y irregulares, frutos cordiformes apuntados de un color rojo menos oscuro i una menor homogeneidad del tamaño del fruto. La variedad comercial ‘Eufrates’, por contra presenta una inflorescencia sencilla (unípara), frutos chatos, de color rojo oscuro y con una elevada uniformidad; típica de una variedad comercial.

Así, las tres selecciones de la cooperativa muestran unas características distintivas y típicas del denominado tipo varietal ‘Valenciana’. Estas características más importantes son la presencia de:

frutos acorazonados y apuntados, con hombros verdes intensos i una zona carnosa i amplia al interior del fruto (corazón). La variedad 'Sueca', posiblemente per ser procedente de una zona cercana al Perelló, presenta características muy similares, aunque destaca per presentar frutos menos apuntados o chatos con más frecuencia.

Es de destacar que dentro de las tres selecciones de la cooperativa i también dentro de la entrada 'Sueca' se observa una cierta variabilidad para caracteres como el apuntamiento de los frutos, la existencia de rallas verdes en el fruto, la intensidad de hombros verdes , así como el si los frutos son lisos o si como dicen los agricultores son 'agallonats' o 'acostellats'. Esta situación es la que ha hecho plantear un programa de selección dentro de estas poblaciones pera distintas morfologías de fruto. No obstante, el más resaltable de los trabajos de caracterización realizados, es la distribución de flores peculiar que presentan los materiales de tomate tipo 'Valenciana'. Estos presentan un nombre máximo de flores en los racimos basales que va disminuyendo conforme nos acercamos a los racimos superiores. No obstante, a 'Eufrates', el nombre de flores por racimo se mantiene más o menos constante al largo de toda la planta (5-7). Esta distribución de la floración se traduce en una fructificación masiva en el primer i segundo racimo de las selecciones de tomate tipo 'Valenciana' i un fallo de cosecha en los racimos superiores de este tipo varietal. Por contra, a 'Eufrates', la fructificación es bastante uniforme al largo de toda la planta.

Les tres selecciones probadas del tomate 'Valenciana d'El Perelló', aunque han presentado niveles productivos menores que el correspondiente al control comercial (65-75 %), teniendo en cuenta el mayor precio de venta per kilo, constituyen variedades muy prometedoras

en los mercados actuales con una demanda creciente de este tipo de variedades por parte del consumidor.

La menor productividad de las selecciones ensayadas de tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ en comparación con el control comercial parecen ser debidas a una falta drástica de cuajado en los racimos de flor a partir del 3er-4r i una concentración de la producción en los 3 primeros racimos. No obstante, en el programa de selección i mejora del tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ que se está realizando se dispone de selecciones con una frecuencia de “masclets” muy elevada y una distribución de cuajado mucho más uniforme (767-57).

2.2.- Mejora genética del tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ para resistencia al virus del mosaico del tomate (*Tomato mosaic virus*, ToMV)

Los resultados de la caracterización de las dos selecciones masales d’UNIPRO revelan que las características que definen de forma más precisa al tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ son la forma acorazonada y apuntada del fruto en la región pistilar. Estos frutos presentan hombros verde intenso en estado pintón y a veces rallas verdes que van desde la base del fruto hasta el terminal de floración. Se caracterizan también por ser muy sólidos, carnosos y con muy poca semilla. No obstante, para estas cuatro características se observó variabilidad en les dos poblaciones evaluadas. Así, de les 95 plantas de cada una de les dos selecciones masales probadas (COOP-767 i COOP-886) se seleccionaron 11 plantas de la selección COOP-767 (22, 27, 38, 44, 50, 53, 54, 57, 63, 68 y 89) y 5 plantas de la selección COOP-886 (41, 42, 54, 55 i 81) con distintas

combinaciones de características. Estas plantas se autofecundaron para constituir las madres del siguiente ciclo en el programa de retrocruzamientos. En los siguientes ciclos se repitió el proceso. Así, se pudieron seleccionar individuos con diferentes intensidades de apuntamiento, hombros verdes, rallas y acostillado. En la actualidad, después de cuatro ciclos de selección i autofecundación se dispone de 16 selecciones o linajes de tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ con una alta uniformidad y buenos niveles de productividad.

Las 11 plantas seleccionadas de COOP-767 y las 5 de COOP-886 se utilizaron como madres en el C1 con ‘Eufrates’ (Abril-Junio 2014). El ciclo siguiente (Abril-Junio de 2015) se realizó el RC1 utilizando aquellas plantas heterocigotas procedentes del C1 como parentales masculinos y las plantas procedentes de la autofecundación de las 16 selecciones de ‘Valenciana d’El Perelló’ como parental femenino. De los 16 linajes originales no se consiguió realizar con éxito el RC1 con los linajes COOP-767-44, COOP-767-54 i COOP-767-57. Este proceso se repitió para obtener el RC2 (Septiembre-Diciembre de 2015). Posteriormente, (Abril-Junio de 2016) con el RC3 con los 12 linajes citados; COOP-767-22, 38, 50, 53, 63, 68 i 89, i COOP-886-41, 42, 54, 55 i 81. Estos RC3 presentaban una recuperación muy elevada del fenotipo de ‘Valenciana d’El Perelló’ (figura 2). Finalmente se realizó el RC4 (Septiembre de 2016- Enero de 2017). A partir de estos RC4 se ha podido proceder a su autofecundación (Abril-Junio de 2017) para poder fijar el gen $Tm2^2$ en homocigosis.

Cabe destacar que ha sido crucial, a medida que avanzaba el programa de mejora realizar una selección de aquellos individuos heterocigotos procedentes del RC1, RC2 i RC3, que siendo heterocigotos, eran los más parecidos al tomate ‘Valenciana d’El Perelló’. Para llevar a

cabo esta cuestión, ha sido muy útil la asignación a cada planta del RC1, RC2 i RC4 de un índice de fenotipo ‘Valenciana d’El Perelló’ (0=Eufrates i 10=Valenciana), escogiéndose como parental masculino de cada retrocruce las plantas con un índice más elevado.

Los resultados de inoculación de plantas supuestamente portadoras del gen de resistencia *Tm2²* identificadas como tales con el marcador molecular tipo SNP, confirman la utilidad de este marcador en la mejora de la resistencia al ToMV. En este sentido, cabe destacar, que cuando se estaba cultivando el RC1 para realizar el RC2 hubo infección por ToMV en el invernadero donde se estaban cultivando las plantas. Todas las plantas genotipadas como heterocigotas resistentes mostraban un vigor adecuado y no mostraban síntomas de virosis. En cambio, el resto de plantas, o sea, las homocigotas recesivas mostraban de forma muy evidente síntomas de ToMV.

Actualmente, y después de un cruzamiento inicial y 4 ciclos de retrocruzamiento se dispone de 7 linajes del tomate ‘Valenciana d’El Perelló’ con el gen *Tm2²* en homocigosis. Este programa permitirá poner a disposición del labrador un conjunto de linajes de tomate ‘Valenciana d’El Perelló’, resistentes al ToMV y con buenas características agronómicas.

3.- Evaluación de la estabilidad de descriptores de tomate para la caracterización de variedades locales de tomate.

3.1.- Variación en descriptores morfológicos para la evaluación de germoplasma de tomate y su estabilidad entre diferentes condiciones de cultivo.

A pesar de la importancia de los trabajos de caracterización para la mejora y el manejo del germoplasma (Engels and Visser, 2002; Ortiz Ríos, 2015), existe poca información sobre la estabilidad de los descriptores de tomate y su influencia en la comparación de los datos obtenidos en diferentes ensayos realizados en diferentes ambientes.

Hemos encontrado que los descriptores morfológicos y agronómicos que se utilizan, la mayoría de ellos correspondientes a Bioversity International descriptors list for tomato (IPGRI, 1996), son útiles para describir la variación existente en una colección de variedades tradicionales de tomate, habiéndose observado amplios rangos de variación, como ocurre en muchos otros trabajos (Mazzucato et al., 2008; Gonçalves et al., 2009; de Castro et al., 2010; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Cortés-Olmos et al., 2015; Figàs et al., 2015; Parisi et al., 2016). Esto confirma una vez más la utilidad de estos descriptores para obtener un compendio de los caracteres más importantes de una variedad de tomate, así como poder comparar variedades de tomate de distintos tipos varietales en un determinado ensayo. En nuestro caso, hemos comparado datos procedentes de tres ambientes de cultivo distintos en tres lugares. Con el objetivo de evaluar los descriptores en ambientes distintos, hemos incluido cultivo convencional al aire libre, cultivo ecológico al aire libre y cultivo bajo invernadero.

De forma ideal, los descriptores deberían tener una alta heredabilidad y, en consecuencia, el ambiente de cultivo y la interacción genotipo por ambiente tener una baja influencia en el carácter (Ortiz Ríos, 2015). Esto permite hacer comparaciones directas entre los datos de caracterización obtenidos. Sin embargo, la comparación de las

evaluaciones para los mismos descriptores en tres ensayos de caracterización reveló que existen importantes diferencias entre descriptores para los efectos de ambiente e interacción genotipo por ambiente. Esto coincide con algunas evidencias previas (Rao et al., 2006; Mazzucato et al., 2008). Estos autores, observaron una interacción genotipo por ambiente significativa para descriptores morfológicos en la caracterización de un conjunto de variedades locales de tomate en diferentes ambientes. Sin embargo, estos estudios, no dan información de la contribución relativa del ambiente o de su interacción con el genotipo a la variación observada en los descriptores (Rao et al., 2006; Mazzucato et al., 2008). En nuestro trabajo, hemos encontrado grandes diferencias entre descriptores individuales en los efectos de entrada, ambiente y genotipo por ambiente. A este respecto, descriptores para caracteres monogénicos, como el tipo de hoja, controlado por el gen *C* (Busch et al., 2011), o el color de la piel del fruto, controlado por el gen *Y* (Ballester et al., 2010), no se ven influenciados por el ambiente y no muestran una interacción genotipo por ambiente y por tanto tienen una heredabilidad de 1. Otros caracteres que tuvieron valores relativamente elevados de heredabilidad fueron aquellos relacionados con la forma del fruto. En tomate, la expresión de caracteres de la forma del fruto tienen un alto grado de determinación genética (Gonzalo and van der Knaap, 2008, Rodríguez et al., 2011). Por otra parte, otros descriptores, para caracteres importantes como producción por planta, tuvieron una elevada influencia ambiental y de la interacción genotipo por ambiente. Adicionalmente también se observó mayor variación dentro de entrada y por tanto una menor heredabilidad. Esto ya había sido observado en otros trabajos (Avdikos et al., 2011; El-Gabry et al., 2014), que revelaron que la producción, siendo

un carácter complejo afectado por varios factores genéticos con influencia del ambiente generalmente tiene una menor heredabilidad. Muy pocos descriptores tuvieron altos valores de heredabilidad, con sólo 10 de los 36 descriptores utilizados con heredabilidades superiores a 0,7. Esto se encuentra en desacuerdo con la recomendación de que los descriptores utilizados en la caracterización de germoplasma poseen altas heredabilidades (Ortiz Ríos, 2015). Además, sugiere que la comparación de datos obtenidos en distintos ensayos, en particular, cuando los ambientes han sido muy diferentes debería de realizarse con precaución, a menos que sólo se utilicen descriptores con una elevada heredabilidad o poco influenciados por la interacción genotipo por ambiente. En este sentido, el hecho de que para la mayor parte de los descriptores la contribución de la interacción genotipo por ambiente es mayor que la del ambiente indica que el uso de controles o índices ambientales para eliminar el efecto del ambiente puede contribuir sólo parcialmente a hacer más comparables los datos (Wricke and Weber, 1986; Becker and León, 1988).

Los tres sistemas de cultivo que nosotros hemos evaluado presentan distintas diferencias en cuanto al manejo del cultivo (Martínez-Blanco et al., 2011; van Bueren et al., 2011; de Ponti et al., 2012). Esto ha producido distintas diferencias significativas entre ambientes para los caracteres evaluados. En particular, la producción media fue mucho mayor en el cultivo convencional al aire libre que en los otros dos sistemas de cultivo. Siendo debido probablemente al reducido uso de fertilizantes en el sistema de cultivo ecológico al aire libre y al peor comportamiento de determinadas variedades locales en el cultivo bajo invernadero (Bettioli et al., 2004; Jones, 2007; Kläring and Krumbein, 2013). La mayor incidencia del agrietado del fruto en el sistema de cultivo ecológico al aire libre que

en el sistema de cultivo convencional al aire libre sugiere que puede haber habido una mayor fluctuación en la humedad del suelo y/o deficiencias de calcio o boro que, a parte de incrementar el agrietado del fruto han contribuido a una menor productividad (Pascual et al., 2000; Liebisch et al., 2009). Las diferencias entre ambientes para cada entrada han sido también estudiadas mediante el uso de las distancias euclídeas entre los valores estandarizados para los 36 descriptores evaluados. Mientras los tres ambientes fueron aproximadamente equidistantes cuando se consideran los valores medios entre todas las variedades, se observaron diferencias considerables entre variedades tanto en el valor medio como la distancia entre ambientes por parejas. A este respecto, algunas variedades fueron más estables que otras, y consecuentemente tuvieron menores diferencias en los datos de caracterización entre ambientes. Otras, por el contrario mostraron diferencias mucho más grandes entre ambientes, indicando una menor estabilidad. Así, se han observado importantes diferencias en estabilidad para determinados caracteres en tomate (Ortiz and Izquierdo, 1994). Esto es muy importante a la hora de elegir los controles para realizar ensayos comparativos en diferentes ambientes; dependiendo de los controles elegidos, la estimación del efecto ambiental puede ser variable (Annicchiarico, 2002).

A pesar de las amplias diferencias entre descriptores concretos para la la contribución del efecto ambiental y del efecto genotipo por ambiente a su variación, el análisis de componentes principales (PCA) muestra que las observaciones de una entrada concreta en diferentes ambientes se posiciona en la misma área del gráfico. Esto indica que los descriptores del IPGRI (1996), a pesar de que algunos tengan una baja heredabilidad, cuando se analizan en conjunto permiten una adecuada caracterización. Al

igual que en otros trabajos (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Figàs et al., 2015), los descriptores morfológicos del IPGRI (1996) permiten una separación clara entre los tipos varietales de tomate. Sin embargo, el análisis PCA también revela que cuando se analizan distintas entradas de un mismo tipo varietal aparecen entremezcladas, y por tanto la comparación de los datos de caracterización de diferentes entradas de un mismo tipo varietal evaluadas en distintos ambientes puede conducir a establecer conclusiones erróneas. Esto tiene implicaciones importantes en la detección de duplicados o cuando se quiere crear colecciones nucleares en bancos de germoplasma. (Dwivedi et al., 2005; Diederichsen, 2009), ya que una entrada genéticamente uniforme al ser evaluada en una ambiente cuando se compara con ella mismo u otras del mismo tipo varietal evaluadas en otro ambiente pueden posicionarse junto a otras entradas diferentes. De forma similar, diferentes entradas evaluadas en diferentes ambientes pueden posicionarse de forma conjunta al analizarlas mediante PCA.

4.- Evaluación del efecto GxE en variedades tradicionales de tomate.

4.1.- Información sobre la adaptación al cultivo en invernadero del tomate mediterráneo tradicional de larga vida portador de la mutación *alc*: una comparación multi-carácter de variedades locales, selecciones e híbridos en cultivo al aire libre y bajo invernadero.

Las variedades de larga vida portadoras de la mutación *alc* están bien adaptadas al cultivo al aire libre y poseen características específicas que las hacen de especial interés, como su tolerancia a la sequía, capacidad

de conservación sin refrigeración y elevado contenido en sólidos solubles (Mutschler et al., 1992; Conesa et al., 2014; Figàs et al., 2015b, Fullana-Pericàs et al., 2017, 2018). Nuestro trabajo presenta una caracterización con diferentes tipos de descriptores, tanto en sistema de cultivo al aire libre, sistema utilizado de forma tradicional en el cultivo de este tipo varietal (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), y también en cultivo bajo invernadero, cuyo uso se está incrementando para producir este tipo de tomate, y para el cual existe poca información sobre el comportamiento de este tipo varietal.

Algunos descriptores que fueron uniformes para el estudio de las entradas de tomate larga vida en los dos sistemas de cultivo corresponden con caracteres de interés taxonómico en la distinción entre el tomate cultivado y sus especies silvestres, como el tipo de dehiscencia de las anteras o la presencia de pubescencia en el fruto (Peralta et al., 2008), caracteres introgresados desde las especies silvestres en los cultivares modernos de tomate, como el pedicelo “jointless” (Rick, 1967), o que obedecen a desordenes fisiológicos causados por factores ambientales o prácticas de cultivo inadecuadas, como el agrietado del fruto (Pascual et al., 2000). Los dos caracteres para los cuales toda la variación observada fue debida al factor varietal (hábito de crecimiento y color de la piel del fruto maduro) son monogénicos y tienen una elevada penetración y expresividad (Carmen-Goren et al., 2003; Ballester et al., 2010), y también confirma que existen variedades de larga vida de crecimiento determinado y piel del fruto maduro incolora (i.e., tienen frutos de color rosa). El hecho de que el efecto de variedad fue, en general, el mayor para en el caso de los descriptores morfológicos es importante, ya que este tipo de descriptores usados para la caracterización de germoplasma debería tener

una elevada heredabilidad, y en consecuencia verse afectados poco por el ambiente (Figàs et al., 2018). Para el resto de descriptores, con la excepción del peso del fruto y la forma del fruto, los cuales están regulados genéticamente (Panthee et al., 2013; El-Gabry et al., 2014; Monforte et al., 2014), así como para la materia seca, sólidos solubles e índice de sabor, el sistema de cultivo, la interacción variedad x ambiente o los efectos residuales fueron los principales contribuyentes a la variación observada. Esto indica que el sistema de cultivo tiene una gran importancia en la expresión de la mayor parte de las características agronómica, químicas y de composición. En otros trabajos, se ha encontrado que los efectos del ambiente de forma conjunta con su interacción con la variedad tienen efecto importante en esos caracteres en tomate (Kuti and Konuru, 2005; Ortiz et al., 2007; Roselló et al., 2010; Adalid et al., 2012; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2018).

La utilización de diferentes tipos de descriptores mostró la existencia de una gran diversidad entre los diferentes materiales de tomate larga vida (*alc*) ensayados, ya que para la mayor parte de los descriptores se observó un amplio rango de variación. Esto está en concordancia con otros trabajos en los cuales se ha encontrado una elevada diversidad para descriptores morfológicos y agronómicos, marcadores moleculares y caracteres de composición química en este tipo varietal (Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015), sugiriendo que el fondo genético de los tomates de larga vida (*alc*) es amplio. Esto indica que existen amplias posibilidades de selección dentro de este tipo varietal.

El sistema de cultivo tuvo un efecto significativo para muchos caracteres morfológicos, lo cual era esperable teniendo en cuenta las grandes diferencias entre los dos sistemas de cultivo empleados

(Csizinsky, 2005; Peet and Welles, 2005). Entre los caracteres afectados, los frutos cultivados bajo invernadero fueron más fáciles de separar del pedicelo que aquellos cultivados al aire libre. Esto es importante en este tipo varietal, ya que los frutos son muchas veces cosidos en racimos (Casals et al., 2012; Mercati et al., 2015) y tienen que permanecer firmemente unidos al pedicelo y no se caigan al suelo. Por tanto, las variedades cultivadas bajo invernadero pueden ser menos apropiadas para ser confeccionadas en racimos que aquellas cultivadas al aire libre. A este respecto, las diferencias ambientales pueden afectar los balances hormonales, y un aumento en los niveles de auxinas puede inducir frutos más apuntados (Abad and Monteiro, 1989; Srivastava and Handa, 2005). Además, los frutos apuntados pueden ser una desventaja en el cultivo bajo invernadero, ya que se incrementa el riesgo de daño a los frutos durante la cosecha y manipulación, aunque algunas variedades como ‘Punteta’ son puntiagudas. Una mayor fasciación, otro carácter desfavorable, en cultivo bajo invernadero puede estar causado por condiciones ambientales subóptimas que producen flores fasciadas (Adams et al., 2001).

Los frutos de tomate de larga vida fueron relativamente pequeños cuando se compararon con otras variedades tradicionales (Bota et al., 2014; Figàs et al., 2015a), lo cual es probablemente debido a una correlación negativa entre el peso del fruto y la capacidad de conservación en este tipo varietal (Casals et al., 2014), y fueron ligeramente aplanados, excepto en la variedad ‘Punteta’ que fue redondeada. El hecho de que los frutos cultivados al aire libre fueron más grandes que los cultivados bajo invernadero puede indicar que los primeros podrían ser menos apropiados para su conservación postcosecha; sin embargo, el hecho de que los frutos producidos al aire libre son generalmente más firmes que los de cultivo

bajo invernadero indica que el impacto negativo sobre la conservación de los frutos más grandes puede verse compensado por su mayor firmeza. También, el hecho de que en la mayoría de las ocasiones las mayores producciones se produjeran en el cultivo al aire libre sugiere una mejor adaptación de este tipo varietal a este sistema de cultivo, donde ha evolucionado y ha sido seleccionado (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015). Teniendo en cuenta la pérdida de peso en postcosecha, esta fue menor comparada con las variedades de tomate estándar (Javanmardi and Kubota, 2006; Pagno et al., 2017), y fue mayor en frutos cultivados bajo invernadero, lo cual indica un mejor comportamiento postcosecha en los frutos producidos al aire libre.

El contenido en materia seca y sólidos solubles fue mayor comparado con las variedades de tomate estándar (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b). En este sentido, encontramos valores de casi el 8% de sólidos solubles en algunas variedades, sugiriendo que estos materiales pueden constituir fuentes de variación para la mejora para contenido en materia seca o sólidos solubles. Sorprendentemente, los valores de materia seca y sólidos solubles fueron mayores en cultivo bajo invernadero, lo cual probablemente estuvo relacionado con unos niveles productivos más bajos en este sistema de cultivo. En este sentido, algunos trabajos indican que existe una correlación negativa entre la producción y el contenido en sólidos solubles (Dumas et al., 1994; Favati et al., 2009). Los valores de pH y acidez titulable fueron similares a los encontrados en otros trabajos (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b; Sánchez-González et al., 2015), mientras que en la mayor parte de variedades

evaluadas el índice de sabor fue considerablemente mayor de 1, lo cual se considera como un valor óptimo para un sabor equilibrado para el tomate de ensalada (Návez et al., 1999), y sugiere que estos frutos tienen un exceso de sólidos solubles. Figàs et al. (2015b) también encontraron que este tipo varietal, en general, tiene un índice de sabor mayor a 1. Las variedades tradicionales de tomate larga vida portadoras de la mutación *alc* se utilizan generalmente de una forma diferente al tomate de ensalada (Casals et al., 2012; Romero del Castillo et al., 2014) y en la mayoría de ocasiones se usan para ser restregados o cocinados. Por tanto, los usos diferentes con respecto al tomate de ensalada, han conducido probablemente a la selección de frutos con un mayor índice de sabor en este tipo varietal. El hecho de que la capacidad antioxidante sea mayor en condiciones de cultivo bajo invernadero puede ser relevante para los consumidores (Diamanti et al., 2011), y puede contribuir a una mayor capacidad de conservación postcosecha (Zhang et al., 2013).

El nivel de compuestos químicos obtenido es similar a los citados en otros trabajos en tomate (Rodríguez-Burruezo et al., 2005; Galiana-Balaguer et al., 2006; Panthee et al., 2013; Figàs et al., 2015b; Sánchez-González et al., 2015) y también para este tipo varietal (Casals Missio et al. 2015, Figàs et al., 2015b), y puso de manifiesto una considerable variación en los materiales evaluados. Al igual que el caso de la materia seca y los sólidos solubles, los niveles medios de glucosa y fructosa fueron mayores en cultivo bajo invernadero, lo cual era esperable, teniendo en cuenta que los azúcares son el principal constituyente de los sólidos solubles (Beckles, 2012; Figàs et al., 2015b). En el mismo sentido, que en la acidez titulable, no se encontraron diferencias en los valores medios de ácido cítrico, el principal ácido orgánico del tomate (Galiana-Balaguer et

al., 2006). Además, el contenido en ácido ascórbico fue mayor en cultivo bajo invernadero, aunque al igual que en los tomates tipo ‘Cherry’, el licopeno fue mayor en condiciones de cultivo al aire libre (Kuti and Konuru, 2005). Teniendo en cuenta el mayor nivel de ácido ascórbico que de carotenoides, nuestros resultados parecen sugerir que el ácido ascórbico puede tener una mayor contribución que el licopeno en la capacidad antioxidante de las variedades tradicionales de larga vida de la cuenca mediterránea (Cano et al., 2003; Sánchez-Moreno et al., 2006; Figàs et al., 2015b). El hecho de que el perfil de compuestos antioxidantes es muy diferente dependiendo del sistema de cultivo, indica que la interacción genotipo por ambiente puede ser explotada para seleccionar materiales de larga vida con mayor contenido en antioxidantes en cualquiera de los sistemas de cultivo contemplados.

En un trabajo anterior (Figàs et al., 2018), en el cual se evaluaron distintos tipos varietales, encontramos que el análisis PCA agrupaba las entradas de acuerdo con el tipo varietal y no por el sistema de cultivo empleado. Sin embargo, dentro del tipo varietal esta distinción no fue clara (Figàs et al., 2018). En nuestro caso, en el cual todos los materiales pertenecen al mismo tipo varietal, la clara separación también por ambientes de cultivo en el PCA indica un mayor efecto del ambiente de cultivo (aire libre vs. invernadero) en las características de este tipo varietal (Csizinsky, 2005; Peet and Welles, 2005). Sin embargo, a partir del PCA se mostró que la distribución de las entradas tanto en aire libre como bajo invernadero siguen un mismo patrón indicando una buena correlación de las características de cada variedad en los diferentes ambientes. El hecho de que las variedades con un mismo origen se posicionen en una misma área tanto para cultivo al aire libre como bajo invernadero revela que

parece existir una diferenciación fenotípica en este tipo varietal que puede ser explotada en la selección y mejora (Panthee et al., 2013; Scott et al., 2013). Es también remarcable que las selecciones varietales e híbridos portadores de la mutación *alc*, no se posicionan en áreas separadas de las variedades tradicionales, sugiriendo que tienen características similares a las variedades locales.

Como se ha observado en otros trabajos (Casals et al., 2012; Cebolla-Cornejo et al., 2013; Bota et al., 2014; Mercati et al., 2015; Figàs et al., 2015a, 2015b), nuestros resultados revelan que existe una gran diversidad en las variedades tradicionales de larga vida portadoras del alelo *alc*. Comparado con el cultivo tradicional al aire libre de estas variedades, el cultivo bajo invernadero tuvo un elevado impacto en propiedades morfológicas, agronómicas y de composición química. Generalmente el cultivo bajo invernadero tuvo un impacto negativo en algunos caracteres morfológicos como una mayor separación del fruto del pedicelo (Casals et al., 2012), en caracteres productivos (e.g., menor producción y firmeza y pérdida de capacidad de conservación), y en el contenido en licopeno y β -caroteno. Sin embargo, en este sistema de cultivo se incrementa la materia seca, los sólidos solubles, la actividad antioxidante y el contenido en glucosa, fructosa y ácido ascórbico. Aunque la gran interacción genotipo por ambiente podría ser explotada para la selección a adaptación al cultivo bajo invernadero de este tipo varietal (Scott et al., 2013), nuestros resultados sugieren que son necesarios programas de mejora específicos para la selección de variedades del tipo varietal ‘De Penjar’, ‘De Ramellet’ o ‘Da Serbo’ adaptados al cultivo bajo invernadero. A este respecto, la diversidad presente en las variedades locales puede ser de gran relevancia para el desarrollo de estas nuevas

variedades. Hasta que se disponga de estas variedades, la evaluación de variedades locales, selecciones comerciales o híbridos puede permitir la identificación de materiales adaptados a las condiciones de cultivo bajo invernadero.

Referencias bibliográficas

- Abad, M., Monteiro, A.A. (1989). The use of auxins for the production of greenhouse tomatoes in mild-winter conditions: A review. *Sci. Hort.* 38, 167-192. doi: 10.1016/0304-4238(89)90064-2.
- Adalid, A.M., Roselló, S., Valcárcel, M., Nuez, F. (2012). Analysis of the genetic control of β -carotene and L-ascorbic acid accumulation in an orange-brownish wild cherry tomato accession. *Euphytica* 184, 251-263. doi: 10.1007/s10681-011-0584.
- Adams, S.R, Cockshull, K.E., Cove, C.R.J. (2001). Effect of the temperature on growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88, 869-877. doi: 10.1006/anbo.2001.1524.
- Andreakis, N., Giordano, I., Pentangelo, A., Fogliano, V., Graziani, G., Monti, L.M., Rao, R. (2004). DNA fingerprinting and quality traits of Corbarino cherry-like tomato landraces. *J Agric Food Chem* 52:3366-3371.
- Annicchiarico, 2002. Genotype \times environment interactions – challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Avdikos, I.D., Tsivelika, N., Gallidou, A., Koutsika-Sotirou, M., 2011. Exploitation of heterosis in tomato recurrent selection programme applied in segregating generations of a tomato breeding program. *Sci. Hort.* 130:701-707.
- Ballester, A.R., Molthoff, J., de Vos, R., Hekkert, B.L., Orzaez, D., Fernández-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: Dereglated expression of the gene encoding transcription factor SIMYB12 leads to pink

- tomato fruit color. *Plant Physiol.* 152, 71-84. doi: 10.1104/pp.109.147322.
- Becker, H.C., León, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101:1-23.
- Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 63, 129-140. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.05.016
- Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J.A.H., Siloto, R.C. (2004). Organic and conventional tomato cropping systems. *Sci. Agric.* 61:253-259.
- Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Díez, M.J., Nuez, F. (2012). Variation revealed by SNP genotyping and morphology provides insight into the origin of tomato. *PLOS ONE* 7:e48198.
- Bletsos, F.A., Goulas, C. (2002). Fresh consumption tomato performance of a local landraces and derived lines. *Acta Hort* 579:95-100.
- Bota, J., Conesa, M.À., Ochogavia, J.M., Medrano, H., Francis, D.M., Cifre, J. (2014). Characterization of a landrace collection for Tomàtiga de ramellet (*Solanum lycopersicum* L.) from the Balearic Islands. *Genet. Resour. Crop Evol.* 61, 1131-1146. doi: 10.1007/s10722-014-0096-3.
- Brewer, M.T., Lang, L., Fujimura, K., Dujmovic, N., Gray, S., van der Knaap, E. (2006). Development of a controlled vocabulary and software application to analyse fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiol* 141:15-25.
- Busch, B.L., Schmitz, G., Rossmann, S., Piron, F., Ding, J., Bendahmane, A., Theres, K. (2011). Shoot branching and leaf dissection in tomato are regulated by homologous gene modules. *Plant Cell* 23:3595-3609.
- Cano, A., Acosta, M., Arnao, M.B. (2003). Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biol. Technol.* 28, 59-65. doi: 10.1016/S0925-5214(02)00141-2.
- Carmen-Goren, L., Liu, Y.S., Lifschitz, E., Zamir, D. (2003). The *SELF-PRUNING* gene family in tomato. *Plant Mol. Biol.* 52, 1215-1222. doi: 10.1023/B:PLAN0000004333.96451.11.

- Casals, J., Bosch, L., Casañas, F., Cebolla, J., Nuez, F. (2011). Montgrí, a cultivar within the Montserrat type. *HortScience* 45:1885-1886.
- Casals Missio, J., Marti Renau, R., Casañas Artigas, F., Cebolla Cornejo, J. (2015). Sugar-and-acid profile of Penjar tomatoes and its evolution during storage. *Sci. Agric.* 72, 314-321. doi: 10.1590/0103-9016-2014-0311.
- 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. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59, 219-229. doi: 10.1007/s10722-011-9677-6.
- Causse, M., Friguier, C., Coiret, C., Lépicier, 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. *J Food Sci* 75:S531-S541.
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Nuez, F. (2013). Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Sci. Hort.* 162, 150-164. doi: 10.1016/j.scienta.2013.07.044.
- Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Valcárcel, M., Serrano, E., Beltrán, 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.
- Conesa, M.À., Galmés, J., Ochogavía, J.M., March, J., Jaume, J., Martorell, A., Francis, D.M., Medrano, H., Rose, J.K.C., Cifre, J. (2014). The postharvest tomato fruit quality of long shelf-life Mediterranean landraces is substantially influenced by irrigation regimes. *Postharvest Biol. Technol.* 93, 114-121. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.02.014.
- Cortés-Olmos, J., Leiva-Brondo, M., Roselló, J., Raigón, M. D., Cebolla-Cornejo, J. (2014). The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2888-2904.
- Cortés-Olmos, J., Vilanova, S., Pascual, L., Roselló, S., Cebolla-Cornejo, J. (2015). SNP markers applied to the characterization of Spanish tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci. Hort.* 194:100-110.

- Csizinsky, A.A. (2005). Production in the open field, in *Tomatoes*, ed E. Heuvelink (Wallingford, UK: CABI), 237-256.
- de Castro, J.P.A., Nick, C., Milagres, C.C., Mattedi, A.P., Marim, B.G., da Silva, D.J.H. (2010). Genetic diversity among tomato's subsamples for pre-breeding. *Crop Breed. Appl. Biotech.* 10:74-82.
- de Ponti, T., Rijk, B., van Ittersum, M.K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agr. Syst.* 108:1-9.
- Diamanti, J., Battino, M., Mezzetti, B. (2011). Breeding for fruit nutritional and nutraceutical quality, in *Breeding for Fruit Quality*, eds M.A. Jenks, and P.J. Bebeli: (Hoboken, NJ, USA John Wiley & Sons), 61-80. doi: 10.1002/9780470959350.ch3.
- Diederichsen, A. (2009). Duplication assessments in Nordic *Avena sativa* accessions at the Canadian national genebank. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56:587-597.
- Díez, M. J., Nuez, F. (2008). Tomato. In J Prohens, & F Nuez (Eds.), *Handbook of plant breeding: Vegetables II* (pp. 249-323). New York: Springer.
- Dumas, Y., Leoni, C., Portas, C.A.M., Bièche, B. (1994). Influence of water and nitrogen availability on yield and quality of processing tomato in the European Union countries. *Acta Hort.* 376, 185-192. doi: 10.17660/ActaHortic.1994.376.23.
- Dwivedi, S., Upadhyaya, H.D., Hedge, D.M. (2005). Development of core collection using geographic information and morphological descriptors in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm. *Genet. Resour. Crop Evol.* 52:821-830.
- El-Gabry, M.A.H., Solieman, T.I.H., Abido, A.I.A. (2014). Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Sci. Hort.* 167, 153-157. doi: 10.1016/j.scienta.2014.01.010.
- Engels, J., Visser, B. (2002). Genebank management procedures. In: Engels, J.M.M., Visser, L. (eds) A guide to effective management of germplasm collections. IPGRI Handbooks for genebanks No. 6. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, pp. 60-79.

- Favati, A., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T., Candido, V. (2009). Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Sci. Hort.* 122, 562-571. doi: 10.1016/j.scienta.2009.06.026.
- Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Torija, M. E., Chaya, C., Galiana-Balaguer, L., Roselló, S., Nuez, F. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *HortScience*, 39, 339-345.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Casanova, C., Fernández-de-Córdova, P., Soler, S. (2018). Variation of morphological descriptors for the evaluation of tomato germplasm and their stability across different growing conditions. *Sci. Hort.* 238, 107-115. doi: 10.1016/j.scienta.2018.04.039.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fernández-de-Córdova, P., Fita, A., Soler, S. (2015a). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62, 189-204. doi: 10.1007/s10722-014-0142-1.
- Figàs, M.R., Prohens, J., Raigón, M.D., Fita, A., García-Martínez, M.D., Casanova, C., Borràs, D., Plazas, M., Andújar, I., Soler, S. (2015b). Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chem.* 187, 517-524. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.083.
- Fullana-Pericàs, M., Conesa, M.À., Soler, S., Ribas-Carbó, M., Granell, A., Galmés, J. (2017). Variations of leaf morphology, photosynthetic traits and water-use efficiency in Western-Mediterranean tomato landraces. *Photosynthetica* 55, 121-133. doi: 10.1007/s11099-016-0653-4.
- Fullana-Pericàs, M., Ponce, J., Conesa, M.À., Juan, A., Ribas-Carbó, M., Galmés, J. (2018). Changes in yield, growth and photosynthesis in a drought-adapted Mediterranean tomato landrace (*Solanum lycopersicum* 'Ramellet') when grafted onto commercial rootstocks and *Solanum pimpinellifolium*. *Sci. Hort.* 233, 70-77. doi: 10.1016/j.scienta.2018.01.045.

- Galiana-Balaguer, L., Roselló, S., Nuez, F. (2006). Characterization and selection of balanced sources of variability for breeding tomato (*Lycopersicon*) internal quality. *Genet. Resour. Crop Evol.* 53, 907-923. doi: 10.1007/s10722-004-6696-6.
- García-Martínez, S., Corrado, G., Ruiz, J.J., Rao, R. (2013). Diversity and structure of a simple of traditional Italian and Spanish tomato accessions. *Genet Res Crop Evol* 60:789-798.
- Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M., Pardo, J.E. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *J Sci Food Agric* 81:1101-1105.
- Gonçalves, L.S.A., Rodrigues, R., Júnior, A.T.A., Karasawa, M., Sudré, C.P. (2009). Heirloom tomato gene bank: assessing genetic divergence based on morphological, agronomic and molecular data using a Ward-modified location model. *Genet. Mol. Res.* 8:364-374.
- Gonzalo, M.J., van der Knaap, E. (2008). A comparative analysis into the genetic bases of morphology in tomato varieties exhibiting elongated fruit shape. *Theor Appl Genet* 116:647-656.
- Hurtado, M., Vilanova, S., Plazas, M., Gramazio, P., Andújar, I, Herraiz, F. J., Castro, A., Prohens, J. (2014). Enhancing conservation and use of local vegetable landraces: the *Almagro* eggplant (*Solanum melongena* L.) case study. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61, 787-795.
- Hyman, J. R., Gaus, J., Foolad, M. R. (2004). A rapid and accurate method for estimating tomato lycopene content by measuring chromaticity values of fruit puree. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 717-723.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., Dalessandro, G. (2011). Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Scientia Horticulturae*, 127, 255-261.
- IPGRI (1996). Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

- Javanmardi, J., Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 151-155. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.03.008.
- Jones, J.B. (2007). Tomato plant culture – in the field, greenhouse and home garden. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Keikel, M., Schumacher, M., Dicato, M., Diederich, M. (2011). Antioxidant and anti-proliferative properties of lycopene. *Free Radical Research*, 45, 925-940.
- Kläring, H.P., Krumbein, A. (2013). The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. *J. Agron. Crop Sci.* 199:351-359.
- Kuti, J.O., Konuru, H.B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 85, 2021-2026. doi: 10.1002/jsfa.2205.
- Labate, J. A., Sheffer, S. M., Balch, T., Robertson, L. D. (2011). Diversity and population structure in a geographic sample of tomato accessions. *Crop Science*, 51, 1068-1079.
- Lammerts van Bueren, E.T., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.M., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS Wageningen J Life Sci* 58:193-205.
- Liebisch, F., Max, J.F.J., Heine, G., Horst, W.J. (2009). Blossom-end rot and fruit cracking of tomato grown in net-covered greenhouses in Central Thailand can partly be corrected by calcium and boron sprays. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:140-150.
- Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., Antón, A., Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *J. Cleaner Prod.* 19:985-987.
- Mazzucato, A., Ficcadenti, N., Caioni, M., Mosconi, P., Piccinini, E., Sanampudi, V.R.R., Sestili, S., Ferrari, V. (2010). Genetic diversity

and distinctiveness in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces: The Italian case study of 'A pera Abruzzese'. *Sci Hort* 125:55-62.

- Mazzucato, A., Papa, R., Bitocchi, E., Mosconi, P., Nanni, L., Negri, V., Picarella, M.E., Siligato, F., Soressi, G.P., Tiranti, B., Veronesi, F. (2008). Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theor Appl Genet* 116:657-669.
- Mercati, F., Longo, C., Poma, D., Aratini, F., Lupini, A., Mammano, M.M., Fiore, M.C., Abenavoli, M.R., Sunseri, F. (2015). Genetic variation of an Italian long shelf-life tomato (*Solanum lycopersicon* L.) collection by using SSR and morphological traits. *Genet. Resour. Crop Evol.* 62, 721-732. doi: 10.1007/s10722-014-0191-5.
- Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants – salient statistical tools and considerations. *Crop Sci* 43:1235-1248.
- Monforte, A.J., Diaz, A., Caño-Delgado, A., van der Knaap, E. (2014). The genetic basis of fruit morphology in horticultural crops: lessons from tomato and melon. *J. Expt. Bot.* 65, 4625-4637. doi: 10.1093/jxb/eru017.
- Mutschler, M.A., Wolfe, D.W., Cobb, E.D., Yourstone, K.S. (1992). Tomato fruit quality and shlef life in hybrids heterozygous for the *alc* ripening mutant. *HortScience* 27, 352-355. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.083.
- Navez, B., Letard, M., Graselly, D., Jost, J. (1999). Les critères de qualité de la tomate. *Infos-Ctifl*, 155, 41-47.
- Oltman, A. E., Jervis, S. M., Drake, M. A. (2014). Consumer attitudes and preferences for fresh market tomatoes. *Journal of Food Science*, 79, S2091-S2097.
- Ortiz Ríos, R. (2015). Plant genetic resources for food and agriculture. In: Ortiz Ríos, R. (ed) *Plant breeding in the omics era*. Springer, New York, pp. 19-39.
- Ortiz, R., Crossa, J., Vargas, M., Izquierdo, J. (2007). Studying the effect of environmental variables on the genotype × environment interaction of tomato. *Euphytica* 153, 119-134. doi: 10.1007/s10681-006-9248-7.

- Ortiz, R., Izquierdo, J. (1994). Yield stability differences among tomato genotypes grown in Latin America and the Caribbean. *HortScience* 29:1175-1177.
- Pagno, C.E., Castagna, A., Trivellini, A., Mensuali-Sodi, A., Ranieri, A., Ferreira, E.A., Rios, A.O., Flores, S.H. (2017). The nutraceutical quality of tomato fruit during domestic storage is affected by chitosan coating. *J. Food Process. Preserv.* 42, e13326. doi: 10.1111/jfpp.13326.
- Panthee, D.R., Labate, J.A., McGrath, M.T., Breksa A.P., Robertson, L.D. (2013). Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. *Euphytica* 193, 169-182. doi: 10.1007/s10681-013-0895-1.
- Parisi, M., Aversano, R., Graziani, G., Ruggieri, V., Senape, V., Sigillo, L., Barone, A. (2016). Phenotypic and molecular diversity in a collection of ‘Pomodoro di Sorrento’ Italian tomato landrace. *Sci. Hort.* 203:143-151.
- Pascual, B., Maroto, J.V., Sanbautista, A., López-Galarza, S., Alagarda, J. (2000). Influence of watering on the yield and cracking of cherry, fresh-market and processing tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75, 171-175. doi: 10.1080/14620316.2000.11511218.
- Peet, M.M., Welles, G. (2005). Greenhouse tomato production, in *Tomatoes*, ed E. Heuvelink (Wallingford, UK: CABI), 257-304.
- Peralta, I.E., Spooner, D.M., Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Syst. Bot. Monogr.* 84, 1-186.
- Rao, R., Corrado, G., Bianchi, M., Di Mauro, A. (2006). (GATA)₄ DNA fingerprinting identifies morphologically characterized ‘San Marzano’ tomato plants. *Plant Breed* 125:173-176.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2, 152-159.
- Rick, C.M. (1967). Fruit and pedicel characters derived from Galápagos tomatoes’. *Econ. Bot.* 21, 171. doi: 10.1007/BF02897867.

- Rodríguez, G., Strecker, J., Brewer, M., Gonzalo, M.J., Anderson, C., Lang, L., Sullivan, D., Wagner, E., Strecker, B., Drushal, R., Dujmovic, N., Fujimuro, K., Jack, A., Njanji, I., Thomas, J., Gray, S., van der Knaap, E. (2010a). Tomato Analyzer version 3 user manual.
http://www.oardc.osu.edu/vanderknaap/files/Tomato_Analyzer_3.0_Manual.pdf
- Rodríguez, G.R., Moyseenko, J.B., Robbins, M.D., Morejón, N.H., Francis, D.M., van der Knaap, E. (2010b). Tomato Analyzer: a useful software application to collect accurate and detailed morphological and colorimetric data from two-dimensional objects. *J Visualized Exp* 37:1856.
- Rodríguez, G.R., Muñoz, S., Anderson, C., Sim, S.C., Michel, A., Causse, M., McSpadden Gardener, B.B., 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 Physiol.* 156:275-285.
- Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., Roselló, S., Nuez, F. (2005). “Heirloom” varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80, 453-460. doi: 10.1080/14620316.2005.11511959.
- Romero del Castillo, R., Puig-Rey, M., Biarnés, J., Vilaseca, H., Simó, J., Plans, M., Massanés, T., Casañas, F. (2015). Using trendsetting chefs to design new culinary preparations with the “Penjar” tomato. *J. Culin. Sci. Technol.* 12, 196-214. doi: 10.1080/15428052.2014.880099.
- Roselló, S., Adalid, A.M., Cebolla-Cornejo, J., Nuez, F. (2010). Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasms. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1014-1021. doi: 10.1002/jsfa.4276.
- Sánchez-González, M.J., Sánchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Porras, M.E., Baeza, E.J., Lorenzo, P. (2015). Influence of pre-harvest factors on quality of a winter cycle, high commercial value, tomato cultivar. *Sci. Hort.* 189, 104-111. doi: 10.1016/j.scienta.2015.03.044.
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., Cano, M.P. (2006). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree

- on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.* 86, 171-179. doi: 10.1002/jsfa.2321.
- Scott, J.W., Myers, J.R., Boches, P.S., Nichols, C.G., Angell, F.F. (2013). Classical genetics and traditional breeding, in *Genetics, Genomics and Breeding of Tomato*, ed B.E. Liedl, J.A. Labate, J.R. Stommel, Slade, A., and C. Kole (Boca Raton, FL, USA: CRC Press), 37-73.
- Siddiqui, M. W., Ayala-Zavala, J. F, Dhua, R. S. (2015). Genotypic variation in tomatoes affecting processing and antioxidant properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, doi 10.1080/10408398.2012.710278.
- Srivastava, A., Handa, A.K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: A molecular perspective. *J. Plant Growth Regul.* 24, 67-82. doi: 10.1007/s00344-005-0015-0.
- Strecker, J., Rodríguez, G., Njanji, I., Thomas, J., Jack, A., Darrigues, A., Hall, J., Dujmovic, N., Gray, S., van der Knaap, E., Francis, D. (2010). Tomato Analyzer color test manual version 3. http://oardc.osu.edu/vanderknaap/files/Color_Test_3.0_Manual.pdf.
- Terzopoulos, P.J., Bebeli, P.J. (2010). Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci Hort* 126:138-144.
- Toor, R. K., Savage, G. P. (2005). Antioxidant activities in different fractions of tomato. *Food Research International*, 38, 487-494.
- UPOV. (2002). General introduction to the examination of distinctness, uniformity and stability and the development of harmonized descriptors of new varieties of plants (TG/1/3). International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Switzerland, 26 p.
- van Bueren, E.T.L., Jones, S.S., Tamm, L., Murphy, K.V., Myers, J.R., Leifert, C., Messmer, M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 58:193-205.
- Vrebalov, J., Ruezinski, D., Padmanabha, V., White, R., Medrano, D., Drake, R., Schuch, W., Giovannoni, J. J. (2002). A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening inhibitor (rin) locus. *Science*, 296, 343-346.

- Wricke, G., Weber, W.E. (1986). Quantitative genetics and selection in plant breeding. Walter de Gruyter, Berlin.
- Zanor, M. I., Rambla, J. L., Chaib, J., Steppa, A., Medina, A., Granell, A., Fernie, A. R., Causse, M. (2009). Metabolic characterization of loci affecting sensory attributes in tomato allows an assessment of the influence of the levels of primary metabolites and volatile organic contents. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2139-2154.
- 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. *J Agric Food Chem* 52:3366-3371.
- Zhang, Y., Butelli, E., De Stefano, R., Schoonbeek, H.J., Magusin, A., Pagliarani, C., Wellner, N., Hill, L., Orzaez, D., Granell, A., Jones, J.D.G., Martin, C. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Curr. Biol.* 23, 1094-1100. doi: 10.1016/j.cub.2013.04.072.

CONCLUSIONES

1.- Los resultados obtenidos muestran que la combinación del uso de descriptores convencionales y del Tomato Analyzer es útil para el estudio de las relaciones y de las características distintivas entre los tipos varietales de las variedades tradicionales de tomate. Incluso cuando algunos de los tipos son muy parecidos morfológicamente (e.g., ‘Cor’, ‘Redona’, y ‘Valenciana’) es posible separarlos mediante un análisis de componentes principales. La caracterización detallada de la forma del fruto mediante el Tomato Analyzer puede ser de gran ayuda para la delimitación morfológica de tipos varietales muy parecidos. Teniendo en cuenta que los análisis DHE (Distinción, Homogeneidad y Estabilidad), necesarios para el registro y/o protección de obtenciones vegetales, están basados sólo en la caracterización morfológica (UPOV, 2002), esta información es muy útil para la tipificación, clasificación, protección, registro y valoración de las variedades locales de tomate.

2.- La colección de variedades locales evaluadas se ha mostrado muy diversa para caracteres de composición implicados en el sabor y propiedades funcionales. Dos tipos varietales (‘Cherry’ y ‘De Penjar’) han mostrado perfiles de composición distintos del resto de tipos, que han presentado valores promedio similares para los caracteres estudiados. La gran diversidad encontrada en cada uno de los tipos varietales, junto con la correlación positiva entre los caracteres de sabor y calidad funcional indica que hay buenas perspectivas para la selección de variedades locales de cada tipo varietal con una composición química y nutritiva mejorada. Nuestro estudio es de interés para la mejora de las variedades locales de tomate, ya que proporciona información sobre las diferencias entre los tipos varietales y dentro de ellos relacionadas con la calidad organoléptica y funcional. Estos resultados permitirán la selección de entradas de

variedades locales de tomate con mejor calidad y más ajustadas a las demandas de los consumidores.

3.- Las selecciones del tomate 'Valenciana d'El Perelló' probadas presentan características típicas del tipo varietal de tomate 'Valenciana', uno de los más genuinos de los territorios valencianos. Estas selecciones se caracterizan por presentar frutos del tipo "mascler" con una frecuencia elevada. Las tres selecciones probadas del tomate 'Valenciana d'El Perelló', aunque han presentado niveles productivos menores que el correspondiente al control comercial (65-75%), teniendo en cuenta el mayor precio de venta por kilogramo, constituyen variedades muy prometedoras dentro de los mercados actuales con una demanda creciente de este tipo de variedades por parte de los consumidores. La menor productividad de las selecciones de tomate 'Valenciana d'El Perelló' en comparación con el control comercial parecen ser debidas a una falta drástica de cuajado en los ramos de flor a partir del 3^{er}-4^o racimo y una concentración de la producción en los 3 primeros ramilletes. No obstante, en el programa de selección y mejora del tomate 'Valenciana d' El Perelló' que se está realizando se dispone de selecciones con una frecuencia de "masclers" bastante elevada y una distribución de cuajado mucho más uniforme (767-57).

4.- Los resultados obtenidos revelan que las características que definen de forma más precisa el tomate 'Valenciana d'El Perelló' son la forma de corazón y apuntado del fruto, la presencia de hombros verde intenso en estado pintón y la presencia de rayas verdes en el fruto. Estos frutos se caracterizan también por ser muy sólidos, carnosos y con poca pulpa. Sin embargo, para estas cuatro características se observó variabilidad en las

dos poblaciones evaluadas. Así, se pudieron seleccionar individuos con diferentes intensidades de apuntamiento, hombros verdes, rayas y acostillado. En la actualidad, tras cuatro ciclos de selección y autofecundación se dispone de 16 selecciones o linajes de tomate 'Valenciana d'El Perelló' con una alta uniformidad y buenos niveles de productividad. Actualmente, y después de un cruce inicial y 4 ciclos de retrocruce se dispone de selecciones de RC4 para 12 de los 16 linajes iniciales de "Tomate Valenciana d'El Perelló". En la actualidad ya se dispone de plantas homocigotas para el gen de resistencia *Tm2²* en 7 de los linajes anteriores. Se va a proceder en breve a poner a disposición del agricultor este conjunto de linajes de tomate 'Valenciana d'El Perelló', resistentes al ToMV.

5.- Nuestro trabajo confirma que los descriptores morfológicos y agronómicos comúnmente utilizados para la caracterización del tomate, como los del IPGRI (1996), son adecuados para proporcionar una descripción detallada de las entradas de germoplasma u otros materiales vegetales. Esto los hace de gran utilidad para evaluar la diversidad, estudiar las relaciones entre las entradas evaluadas y asignarlas a tipos varietales. Sin embargo, muchos descriptores, cuando se comparan en entornos diferentes, tienen una heredabilidad baja o moderada. Esto, junto con grandes efectos de interacción genotipo × entorno indica que la comparación de los conjuntos de datos de caracterización de tomate que incluyen accesiones que no se han cultivado en el mismo ensayo debe hacerse con precaución, incluso cuando los controles se utilizan para eliminar el efecto ambiental. No obstante, el análisis de componentes principales multivariante con datos procedentes de diferentes ambientes ha demostrado ser útil para una separación fiable de las entradas de

368

variedades tradicionales según el tipo varietal. Toda esta información tiene implicaciones importantes para la conservación y manejo del germoplasma de tomate, así como para la reproducción.

6.- Como se ha observado en otros trabajos, nuestros resultados revelan que existe una gran diversidad en las variedades tradicionales de larga vida portadoras del alelo *alc*. Comparado con el cultivo tradicional al aire libre de estas variedades, el cultivo bajo invernadero tuvo un elevado impacto en propiedades morfológicas, agronómicas y de composición química. Generalmente el cultivo bajo invernadero tuvo un impacto negativo en algunos caracteres morfológicos como una mayor separación del fruto del pedicelo, en caracteres productivos (e.g., menor producción y firmeza y pérdida de capacidad de conservación), y en el contenido en licopeno y β -caroteno. Sin embargo, en este sistema de cultivo se incrementa la materia seca, los sólidos solubles, la actividad antioxidante y el contenido en glucosa, fructosa y ácido ascórbico. Aunque la gran interacción genotipo por ambiente observada podría ser explotada para la selección a adaptación al cultivo bajo invernadero de este tipo varietal, nuestros resultados sugieren que son necesarios programas de mejora específicos para la selección de variedades del tipo varietal ‘De Penjar’, ‘De Ramellet’ o ‘Da Serbo’ adaptados al cultivo bajo invernadero. A este respecto, la diversidad presente en las variedades locales puede ser de gran relevancia para el desarrollo de estas nuevas variedades. Hasta que se disponga de estas variedades, la evaluación de variedades locales, selecciones comerciales o híbridos puede permitir la identificación de materiales adaptados a las condiciones de cultivo bajo invernadero.

7.- El desarrollo de la presente tesis ha permitido profundizar en la implementación de nuevas herramientas para la caracterización morfoagronómica y de composición de las variedades tradicionales de tomate valencianas. Esto ha permitido caracterizar este tipo de variedades de forma dirigida y teniendo en cuenta además el sistema de cultivo como efecto a tener en cuenta en dichas caracterizaciones. Los resultados obtenidos en esta parte de la tesis han sido aplicados para la mejora genética de unos de los tipos varietales de mayor importancia en los distintos territorios valencianos, permitiendo poner a disposición de los agricultores variedades tradicionales de tomate que mantienen las características morfoagronómicas y de calidad, fruto de su trabajo a lo largo de siglos, pero con nuevos caracteres que las hacen más competitivas y que contribuyen a su valorización.