

Varietats de garrofer dels Països Catalans: caracterització i estructura poblacional

Mercè Rovira, Antònia Ninot, Agustí Romero, Ignasi Batlle

Programa de Fructicultura, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Mas Bové, Constantí

REBUT: 8 DE MARÇ DE 2021 - ACCEPTAT: 9 DE JUNY DE 2021

RESUM

El garrofer (*Ceratonia siliqua* L.) és una espècie arbòria perennifòlia, termòfila i xeròfita conreada a la major part dels països de la conca mediterrània. La seva distribució a la península Ibèrica ocupa la franja litoral mediterrània i part de l'atlàntica del sud. Espanya n'és el principal país productor a escala mundial. Al Centre de Mas Bové de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), a Constantí, al Tarragonès, es manté el Banc Nacional de Germoplasma de Garrofer (BNGG), on es conserven 234 entrades de diferents països. En aquest treball es presenten els resultats de caracterització de la garrofa i el garroff de les entrades procedents de Catalunya (35), les Illes Balears (30) i el País Valencià (41), així com algunes particularitats de les seves inflorescències. També es mostren els resultats de l'estructura poblacional del BNGG analitzada mitjançant el genotipatge amb marcadors moleculars, microsatèl·lits de 215 entrades, que indiquen la presència de dos grups genètics. Les varietats dels Països Catalans (Catalunya, Illes Balears i País Valencià) i les de Múrcia pertanyen a un grup genètic, mentre que les varie-

Correspondència: Mercè Rovira. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Mas Bové. Ctra. de Reus - El Morell, km 3,8. 43120 Constantí (Tarragonès). Tel.: 977 328 424. A/e: merce.rovira@irta.cat.

tats dels altres països i d'Andalusia formarien part d'un altre grup genètic diferenciat, cosa que suggereix l'existència d'un passat comú en l'origen d'aquests materials.

PARAULES CLAU: garrofer, conservació, varietats, descripció, estructura genètica.

Carob cultivars of the Catalan Countries: Characterization and population structure

ABSTRACT

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is an evergreen, thermophilic and xerophytic species growing in most of the Mediterranean countries. Its geographical distribution in the Iberian Peninsula covers the Mediterranean coastal strip and part of the southern Atlantic coast. Spain is the leading carob pod producer country worldwide. The Mas Bové Center of the Agrofood Research and Technology Institute (IRTA, from the Catalan), located in the town of Constantí (Tarragonès region), hosts the National Carob Germplasm Bank (BNGG, from the Catalan) where 234 accessions from different countries are conserved. This study describes the current carob cultivar situation in Catalonia, the Balearic Islands and the Valencian Country, as well as the characterization of the carob pod and the seed traits of the genetic resources from Catalonia (35), the Balearic Islands (30) and the Valencian Country (41), together with the flower characterization. In addition, the results of the population structure of the BNGG analyzed by microsatellite (SSRs) genotyping with molecular markers of 215 accessions showed the presence of two genetic groups. The cultivars from the Catalan Countries (Catalonia, the Balearic Islands and the Valencian Country) and those from Murcia belong to the same genetic group while the cultivars from other countries and from Andalusia belong to a different genetic group, suggesting the existence of a common past in the origin of these materials.

KEYWORDS: carob, conservation, cultivars, description, genetic structure.

Varietades de algarrobo de los Países Catalanes: caracterización y estructura poblacional

RESUMEN

El algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) es una especie arbórea perennifolia, termófila y xerófila cultivada en la mayoría de los países de la cuenca mediterránea. Su distribución en la península ibérica ocupa la franja litoral mediterránea y parte de la sur atlántica. España es el principal productor mundial de algarroba. En el Centro de Mas Bové del Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), en Constantí, en el Tarragonès, se mantiene el Banco Nacional de Germoplasma de Algarrobo (BNGA), donde se conservan 234 entradas de diferentes países. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización de la algarroba y de su semilla de las entradas procedentes de Cataluña (35), Islas Baleares (30) y País Valenciano (41), así como algunas particularidades de sus inflorescencias. También se muestran los resultados de la estructura poblacional del BNGA analizada mediante el genotipado con marcadores moleculares, microsatélites de 215 entradas, que indican la presencia de dos grupos genéticos. Las variedades de los Países Catalanes (Cataluña, Islas Baleares y País Valenciano) y las de Murcia pertenecen a un grupo genético, mientras que las variedades de los otros países y de Andalucía formarían parte de otro grupo genético diferenciado, lo que sugiere la existencia de un pasado común en el origen de estos materiales.

PALABRAS CLAVE: algarrobo, conservación, variedades, descripción, estructura genética.

1. Introducció

1.1. Descripció botànica i ecologia

El garrofer o garrover (*Ceratonia siliqua* L.) pertany a la família de les *Leguminosae* (sin. *Fabaceae*), subfamília Caesalpinioideae, dins de l'ordre de les Rosales. El seu nom científic deriva del grec *keras*, 'banya', i del llatí *siliqua*, que fan referència a la duresa i a la forma de la beina, respectivament. El seu nombre cromosòmic és $2n = 48$ (Goldblatt, 1981). És una lleguminosa arbòria, però no fixa el nitrogen atmosfèric a través de les seves arrels (Martins-Loução i Rodríguez-Barrueco, 1982).

Botànicament, el garrofer es descriu com un arbre de 4-10 m d'alçada, vigorós i de capçada ampla i ovoide, tronc irregular, escorça bastant llisa i grisa, branques llargues,

gruixudes i horitzontals; fulles alternes, peciolades, compostes amb 2-5 parells de folíols el·líptics, coriàcis de 2,5-6 cm; flors polígames, verdoses, en raïms axil·lars, calze caduc, cinc estams lliures; llegums indehiscents de 10-20 cm × 1-3 cm, penjants i gruixuts (Bolòs *et al.*, 1990; López-González, 2001). El fruit conté de quinze a disset llavors o garrofins de 8-10 mm, ovoides, aplanades i llises brillants, de color marró fosc, molt dures i separades per espais dins la beina. És una espècie poligamotrioica, és a dir, presenta flors hermafrodites, femenines i masculines sobre diferents peus, encara que en un mateix peu, segons l'any i la climatologia, es pot observar una àmplia gamma de tipus florals. Tot i així, les varietats es classifiquen en femenines, hermafrodites i masculines. Aquesta complexa biologia floral ha estat descrita per diferents autors (Linskens i Scholten, 1980; Haselberg, 1988; Tucker, 1992; Rovira i Tous, 1999). La pol·linització pot ser anemòfila i, principalment, entomòfila; de fet, s'ha demostrat que les flors femenines poden ser pol·linitzades per una gran quantitat d'insectes diferents (Retana, Ramoneda i García del Pino, 1990). Sembla ser que els agricultors amb el temps han anat eliminant les varietats masculines dels camps, ja que no produeixen garrofes i, actualment, a les plantacions el nombre és reduït. A les nostres contrades, floreix entre finals d'estiu i la tardor (setembre-desembre). Els fruits quallats són inicialment verds i després de deu mesos de desenvolupament verolen a color bru-vermellós fosc i esdevenen coriàcis amb la maduració.

Ecològicament, és una espècie arbòria xeròfita, escleròfil·la (de fulla dura i coràcia) i perennifòlia que habita al contorn de la Mediterrània, Califòrnia i alguns estats d' Austràlia. El garrofer silvestre és un element característic de la flora litoral mediterrània i pot presentar-se acompanyat pel coscoll (*Quercus coccifera*), el llentiscle (*Pistacia lentiscus*), l'ullastre (*Olea europea* var. *sylvestris*), el margalló (*Chamaerops humilis*) i el pi blanc (*Pinus halepensis*) (Folch i Guillèn, 1981). D'altra banda, és una espècie termòfila sensible a les gelades i, per tant, habita únicament zones properes al litoral amb influència marítima que rarament superen els 600 m d'altitud. Temperatures per sota de -4 °C poden danyar arbres joves, brots i inflorescències en adults (Tous i Batlle, 1990). Per això al refranyer popular català trobem la dita: «El garrofer vol veure el mar», cosa que ens indica que viu a zones de clima suau i càlid i que no s'endinsa cap a l'interior.

1.2. Origen i distribució

El garrofer és originari de la Mediterrània oriental i va ser introduït a la península Ibèrica i a les Illes Balears abans de la conquesta àrab (segle VIII). El seu origen no és clar, però, d'acord amb Zohary (1973), sembla que procedeix de la península Aràbiga, que, alhora, n'és un dels centres de domesticació.

A la península Ibèrica ocupa principalment la franja litoral mediterrània i part de l'atlàntica, des de Catalunya fins a l'Algarve, a Portugal. És freqüent que coexisteixin formes silvestres i individus provinents de formes cultivades d'aquesta espècie (Tous i Batlle, 1990). El garrofer és un arbre de llarga vida, i té una important representació a Catalunya, al País Valencià i a les Illes Balears, principalment a Mallorca i Eivissa. La seva presència és testimonial a Menorca, Formentera i Cabrera.

1.3. Conreu i producció

El garrofer és una de les espècies fruteres de secà més característica de la conca mediterrània, és rústica, resistent a la sequera i a sòls calcaris, tolera la salinitat, presenta unes exigències mínimes de cultiu i s'adapta a una agricultura a temps parcial (Tous i Batlle, 1990); és amb aquestes condicions de maneig que s'ha conreat tradicionalment. Els darrers anys se n'han fet algunes plantacions en regadiu (fonamentalment amb reg de suport) i també se n'han reconvertit a regadiu.

Els principals països productors, a escala mundial, són Espanya (80.000 t de garrofa), el Marroc (50.000 t), Portugal (37.000 t), Itàlia (35.000 t), Turquia (15.000 t), Grècia (10.000 t), Algèria (10.000 t), Xipre (5.000 t) i d'altres (10.000 t) (Tous, Romero i Batlle, 2013). El cultiu a Espanya (50.000 ha) es concentra al litoral mediterrani, principalment, al País Valencià (17.494 ha), a les Illes Balears (13.022 ha) i a Catalunya (6.743 ha). Altres comunitats menys importants són Andalusia (1.452 ha) i Múrcia (994 ha) (MAPAMA, 2021, dades de 2018).

1.4. Usos i aprofitaments

Gràcies a les característiques fisiològiques i adaptatives, el garrofer es pot utilitzar per a la restauració vegetal i la revaloració d'àrees degradades difícils d'explotar amb altres conreus. També cal tenir en compte el seu aprofitament agroforestal, paisatgístic i com a arbre ornamental a carrers i jardins.

Als països productors, la garrofa s'ha utilitzat tradicionalment en alimentació animal i humana. L'aprofitament més important d'aquest fruit, fins a la dècada de 1960, era la polpa (90% del pes del fruit) destinada a l'alimentació d'èquids. De la polpa, dolça i comestible, se n'obté farina en diferents formats (que s'empra com a sucedani del cacau i del cafè) i també alcohol i xarops. Actualment, la part més valuosa del fruit és la llavor, de la qual s'extreu la goma de garroffí. Aquest preuat mucílag s'utilitza com a additiu alimentari (E-410 en la codificació europea), com a espessidor, emulsionant i estabilitzant

en diferents productes (gelats, sopes, salses i cremes). També es fa servir a la indústria farmacèutica i veterinària per l'efecte laxant i emol·lient que té.

1.5. El Banc Nacional de Germoplasma de Garrofer de l'IRTA (BNGG)

Al Centre de Mas Bové de l'IRTA, a Constantí, al Tarragonès, es conserva la col·lecció de garrofers del BNGG (figura 1), a escala estatal, amb més de 230 entrades¹ procedents de diferents zones d'Espanya i d'altres països productors. Donada la importància d'aquest conreu en els secans del litoral mediterrani, l'IRTA optà per iniciar aquesta col·lecció l'any 1984, amb materials provinents de prospeccions fetes a Catalunya. A partir d'aquest nucli de varietats, es van anar introduint altres ecotips resultat de prospeccions d'altres zones d'Espanya (Caja, Casanova i Cabot, 1984; Batlle, 1985; Rodríguez i Frutos, 1988; Batlle i Tous, 1990; Batlle, Tous i Rallo, 2000; Tous, Batlle i Romero, 1995; Tous *et al.*, 2001). Les primeres descripcions del material van posar de manifest que les característiques de les varietats espanyoles no satisfien les noves exigències del mercat de la garrofa de finals de la dècada de 1970, ja que predominaven fruits amb un elevat contingut en polpa i poc rendiment en garroffí. Per tal d'intentar identificar materials amb característiques de fruit d'alt rendiment en garroffí, en anys posteriors, es van fer prospeccions a altres països de la Mediterrània. Fou a través d'aquestes prospeccions que s'afegiren a la col·lecció materials procedents de Tunísia (Tous *et al.*, 2006) i del Marroc (Tous, Romero i Batlle, 2013), principalment, molt interessants pels alts rendiments en garroffí, així com d'altres països de la conca mediterrània. La col·lecció conserva una gran diversitat de genotips de garrofer, representativa dels països mediterranis (taula 1). Aquesta col·lecció és considerada un referent a escala mundial.

Es considera que l'espècie, a Espanya, no està en perill d'extinció, però la pressió urbanística i les noves infraestructures al litoral mediterrani estan produint una erosió genètica considerable dels recursos autòctons. La conservació *ex situ* d'aquests materials al BNGG es fa cada vegada més necessària per a salvaguardar la diversitat genètica. Tota la informació que es pugui obtenir dels diferents materials (dades de passaport de les entrades i de caracterització de la varietat) serà útil per a agricultors, investigadors, milloradors o altres usuaris (Rovira *et al.*, 2014). En la descripció de les varietats de garrofer s'utilitzen diferents caràcters, atenent els descriptors internacionals existents per a aquesta espècie (Batlle i Tous, 1997). En total, són vint-i-vuit caràcters corresponents a diferents parts de l'arbre (catorze) i del fruit (catorze) (taula 2) (figura 2). A més, es va fer una caracteritza-

1. S'anomena *entrada* cada entitat genètica dipositada de manera independent en un banc de germoplasma.

FIGURA 1

Arbres del BNGG a Mas Bové (Constantí, Tarragonès)



FONT: IRTA.

ció amb isoenzims i marcadors moleculars d'ADN (8 microsatèl·lits o SSR, de l'anglès *simple sequence repeats*) (Tous *et al.*, 1992; Di Guardo *et al.*, 2019). Les varietats també es caracteritzen segons les seves aptituds agronòmiques (entrada en producció, productivitat, ramificació, alternança, sensibilitat al fred, resistència a «oïdi», resistència a l'abscisió del fruit en la maduració, època de maduració) i tecnològiques (aptitud comercial).

La majoria dels genotips estan caracteritzats (Tous i Batlle, 1990; Batlle i Tous 1997; Rovira i Tous, 1999; Tous, Romero i Batlle, 2013; Rofes, 2019), seguint els protocols establerts (Batlle i Tous, 1997). Els estudis de quatre sistemes isoenzimàtics (Tous *et al.*, 1992) van mostrar poca variabilitat en les setanta accessions de la col·lecció que es van estudiar. Recentment, la col·lecció ha estat genotipada per la tècnica de SSR (Di Guardo *et al.*, 2019), treball que ha permès estudiar l'estructura genètica del BNGG, i en el qual

TAULA 1

Origen i nombre d'entrades de garrofer (*Ceratonia siliqua* L.) del BNGG. Maig de 2021

Material d'Espanya		Material forà		Total BNGG
Comunitat autònoma	Nombre d'entrades	País	Nombre d'entrades	
Andalusia	47	Algèria	1	
Catalunya	35	Austràlia	7	
Illes Balears	30	Croàcia	2	
Múrcia	3	EUA	3	
País Valencià	41	Israel	1	
		Itàlia	8	
		Marroc	29	
		Portugal	7	
		Tunísia	13	
		Turquia	4	
		Xipre	3	
Total	156	Total	78	234

FONT: Elaboració pròpia.

es proposa una col·lecció nuclear (*core collection*) per a aquesta espècie, mitjançant l'elecció del mínim nombre de genotips que caldria mantenir per tal de conservar la màxima diversitat genètica de l'espècie.

1.6. Objectius

L'objectiu d'aquest article és presentar els resultats més destacats de l'estudi realitzat a 106 varietats de garrofer provinents de tres poblacions dels Països Catalans (35 de Catalunya, 30 de les Illes Balears i 41 del País Valencià) reunides pel BNGG. L'estudi se centra en les particularitats de la biologia floral d'algunes varietats (morfologia de les flors) i en la caracterització morfològica de la garrofa i del garrofi. També estudia l'estructura genètica de les tres poblacions estudiades en comparació a les altres entrades del BNGG d'altres països.

2. Metodologia

Els genotips caracteritzats del BNGG provinents de les tres poblacions dels Països Catalans es mostren a la figura 3. Són 106 varietats: 35 varietats de Catalunya, 30 de les Illes Balears i 41 del País Valencià.

TAULA 2

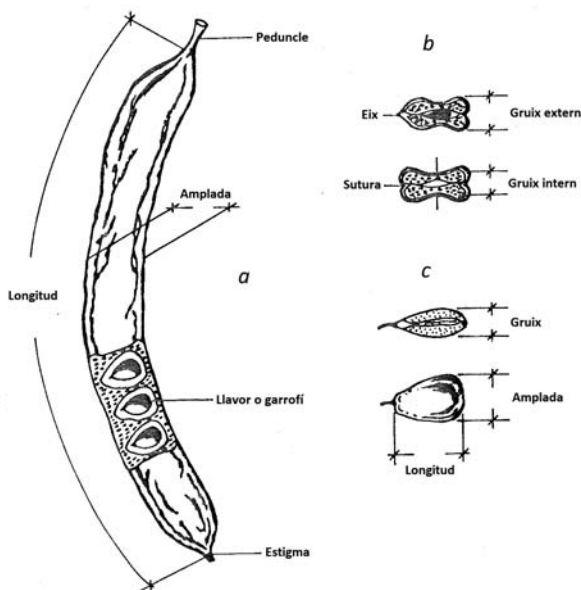
Caràcters estudiats per a la caracterització de les varietats de garrofer del BNGG

Òrgan	Nre. de caràcters	Caràcters
Arbre	5	sexe, vigor, port, densitat de la capçada, ramificació
Fulles i foliols	5	longitud del raquis (cm), nombre de foliols, mida del folioli (cm ²), longitud del folioli (cm), amplada del folioli (cm)
Inflorescències	4	longitud del raquis (cm), nombre de flors per inflorescència, color del raquis, color del pistil i/o color de les anteres
Fruit	7	pes (g), longitud (cm), amplada (mm), gruix extern (mm), gruix intern (mm), nombre de llavors per fruit, llavors avortades (%)
Garrofi	6	pes (g), longitud (L) (mm), amplada (A) (mm), gruix (mm), índex L/A, rendiment en garrofi (% sobre el pes del fruit)
Goma de garrofi	1	rendiment en goma (% sobre el pes del garrofi)

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 2

Parts importants de la garrofa

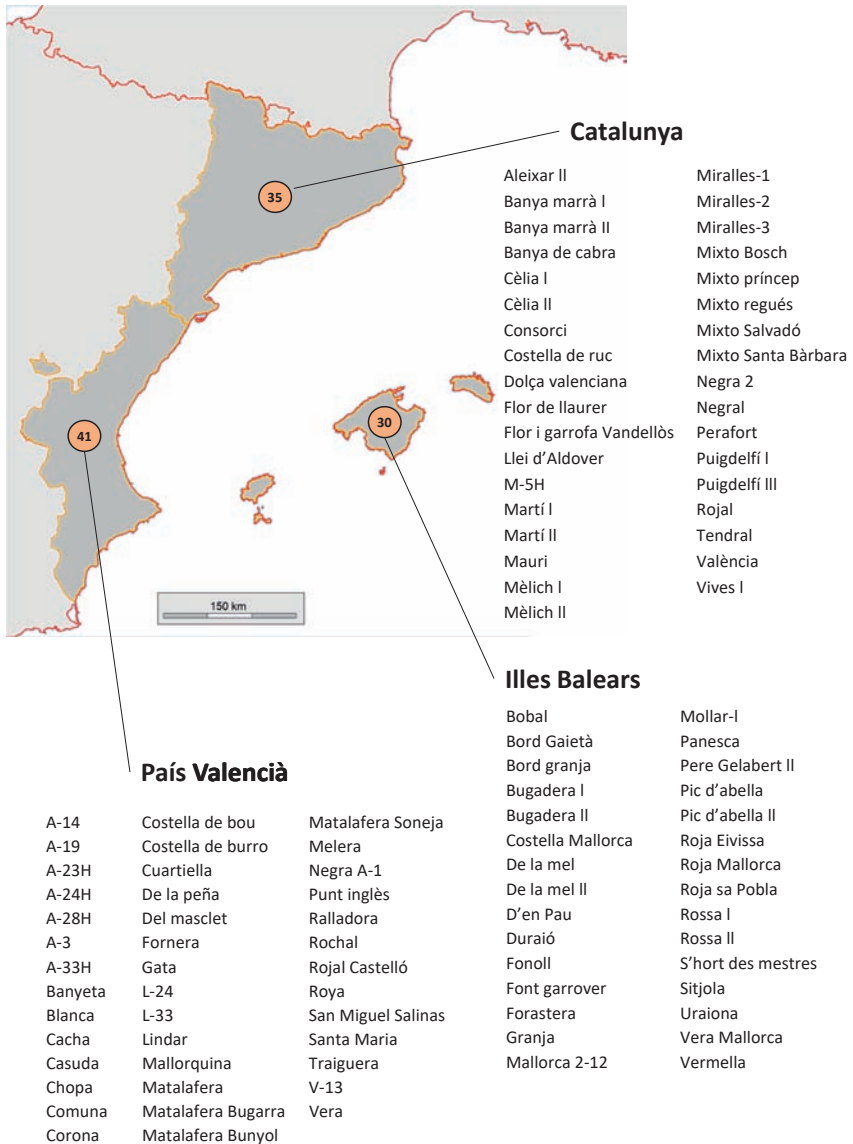


NOTA: a) garrofa; b) secció de la garrofa; c) garrofi.

FONT: Batlle i Tous (1997).

FIGURA 3

Varietats estudiades de Catalunya (35), les Illes Balears (30) i el País Valencià (41), del BNGG, a Mas Bové (Constantí, Tarragonès)



FONT: Elaboració pròpia.

S'han estudiat dos caràcters d'inflorescències: color del raquis i color del pistil (flors femenines i hermafrodites) o de les anteres (flors masculines i hermafrodites), alhora que s'ha determinat el sexe de cada genotip; els set caràcters de fruit i els sis de garroffí (taula 2 i figura 2). Per a la definició dels caràcters, s'han mesurat per a cada varietat: deu inflorescències, vint-i-cinc garrofes i deu garroffins, en plena maduració. Per a totes les variables de morfologia de fruit i garroffí i per un mínim de cinc anys s'ha fet l'anàlisi de la variància (ANOVA) per a comparar les tres poblacions i una anàlisi de components principals (ACP) per tal d'identificar agrupacions entre les varietats de les tres poblacions mitjançant el programari SAS/STAT (V 9.4 SAS Institute INC, Cary, NC; Estats Units). Finalment, s'han caracteritzat 215 introduccions del BNGG procedents de dotze països (els onze forans i Espanya) per mitjà de marcadors moleculars d'ADN (8 SSR) i un marcador (matK4LF) d'ADN cloroplàstic.

3. Resultats i discussió

3.1. Caràcters de les inflorescències

S'observen diferències en el color del raquis: vermell rosat (corona), vermell (cuartiella), vermell intens (Aleixar II), vermell marronós (de la mel II), verd (bord Gaietà) o verd grogós (font garrover). També en el color del pistil (figura 4): verd (consorci), gris verdós (fontoll), gris rosat (Cèlia I) o gris (d'en Pau); i a la pigmentació de les anteres (figura 5): ocre (panesca), verd (comuna), groc (A-19, font garrover, gata) o vermell ataronjat (corona).

Pel que fa al sexe, s'observen varietats femenines amb alguna inflorescència hermafrodita (per exemple, bugadera I), i a l'inrevés, varietats hermafrodites amb algunes inflorescències només femenines (per exemple, gata). També, varietats definides com a hermafrodites que alguns anys tenen flors només masculines. Aquest fet s'explica perquè, inicialment, les flors solen manifestar un caràcter hermafrodita latent i, en desenvolupar-se, se'ls poden atrofiar els estams o bé els ovaris, cosa que dona lloc als tipus florals femenins i masculins, respectivament (Tucker, 1992).

3.2. Caràcters de la garrofa i del garroffí

L'anàlisi estadística dels resultats de la caracterització del fruit i del garroffí (taula 2) ha posat de manifest que hi ha diferències importants entre les varietats de Catalunya, les Illes Balears i el País Valencià del BNGG. Així, s'han trobat diferències significatives en nou caràcters: quatre del fruit (pes de la garrofa, longitud de la garrofa, amplada de la

FIGURA 4

Color del pistil d'algunes varietats femenines



NOTA: a) verd; b) gris rosat; c) gris.

FONT: IRTA.

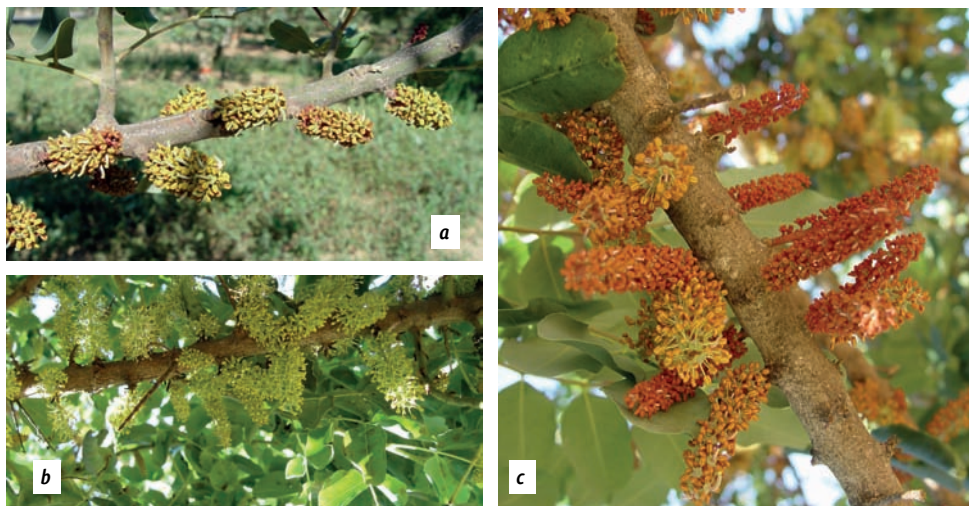
garrofa, nombre de llavors avortades) i cinc del garrofi (longitud del garrofi, amplada del garrofi, gruix del garrofi, índex longitud/amplada del garrofi i rendiment en garrofi). Un caràcter que no presenta diferència significativa entre les tres poblacions és el pes del garrofi (de l'ordre de 0,2 g). És sabut que, per aquesta manca de variabilitat, el garrofi es va utilitzar a l'antiguitat com a unitat de pes per a pedres i metalls preciosos. El quirat (unitat de pes que equival a 200 mg) té l'origen en el garrofi (Tous i Batlle, 1990).

Seguidament, es presenten els gràfics de les distribucions de cinc caràcters (quatre del fruit i un del garrofi) que han mostrat diferències significatives entre les tres poblacions: pes de la garrofa, longitud de la garrofa, amplada de la garrofa, nombre de llavors avortades i rendiment en garrofi. Són els caràcters més determinants a l'hora d'avaluar les varietats de garrofer.

a) *Pes de la garrofa* (figura 6). Les varietats del País Valencià van mostrar una mitjana (17,98 g) superior a la de les altres poblacions; la varietat comuna és la que va presentar un pes mitjà més baix (12,17 g) i la lindar un pes més elevat (24,60 g). Les varietats de Catalunya (amb 16,85 g de mitjana) van oscil·lar entre 8,45 g (varietat Perafort) i 24,82 g (varietat llei d'Aldover). Els pesos de les varietats de les Illes Balears (amb 15,26 g de mitjana) van oscil·lar entre 9,41 g (roja Eivissa) i 23,04 g (s'hort des mestres).

FIGURA 5

Pigmentació de les anteres d'algunes varietats masculines i hermafrodites



NOTA: a) ocre; b) groc; c) vermell ataronjat.

FONT: IRTA.

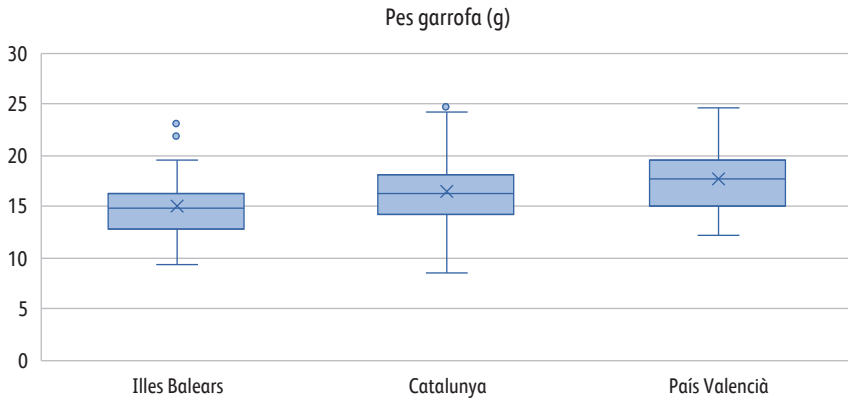
b) Longitud de la garrofa (figura 7). Les garrofes del País Valencià van ser les més llargues, amb un valor mitjà de 17,24 cm i valors que van oscil·lar entre 20,86 cm (lindar) i 14,14 cm (banyeta). La longitud mitjana de les de Catalunya va ser de 16,22 cm, i les varietats Puigdelfí II (19,23 cm) i València (13,15 cm) van presentar els valors extrems. Les varietats de les Illes Balears es van trobar entre 18,50 cm (bord Gaietà) i 11,59 cm (roja Eivissa), amb un valor mitjà de 15,56 cm.

c) Amplada de la garrofa (figura 8). Les varietats de les Illes Balears van ser les més estretes (20,01 mm de mitjana), i van oscil·lar entre 15,89 mm (bord granja) i 23,32 mm (granja). A continuació, es van situar les del País Valencià, amb 21,89 mm, amb valors entre 16,02 mm (matalafera Bugarra) i 25,33 mm (costella de bou). Finalment, les garrofes de Catalunya, les més amples (22,06 mm de mitjana), van variar entre 19,15 mm (Mèlich II) i 25,30 mm (Mèlich I).

d) Nombre de llavors avortades (figura 9). La població de les Illes Balears és la que presentà menys garroffins avortats per garrofa (1,69 de mitjana), amb valors que van oscil·lar entre 0,88 (roja sa Pobla) i 3,06 (s'hort des mestres). La de Catalunya se situà a continuació, amb 2,15 llavors avortades de mitjana, i valors entre 1,32 (banya de marrà) i 3,48 (M5H). Les varietats del País Valencià van presentar el nombre més elevat de

FIGURA 6

Distribució del pes de la garrofa (g) en les tres poblacions (Catalunya, Illes Balears i País Valencià) del BNGG

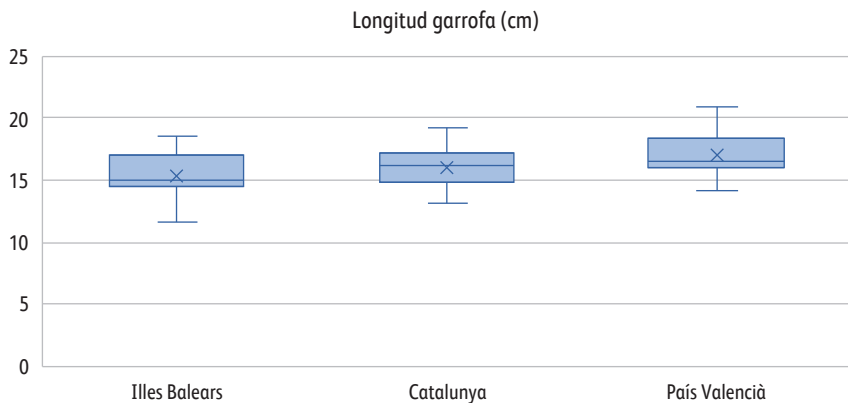


NOTA: (—): valors extrems, màxim i mínim, observats; x: valor mitjà; (*) valors atípics; la caixa indica els percentils 75 % i 25 %, entre els dos límits queden incloses el 50 % de les observacions.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 7

Distribució de la longitud de la garrofa (cm) en les tres poblacions del BNGG

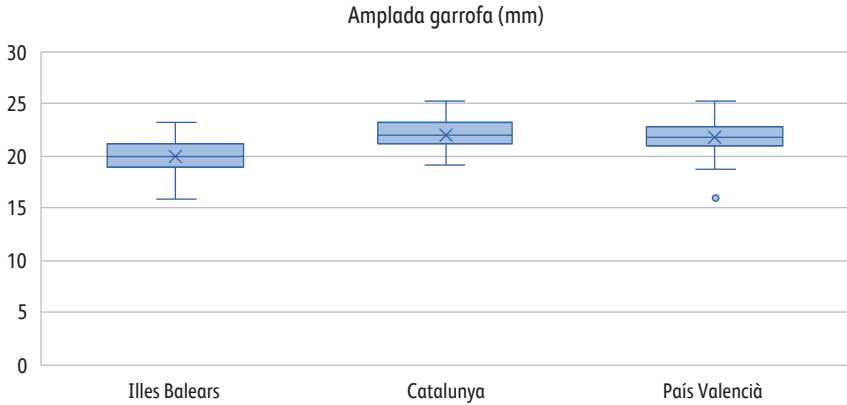


NOTA: (—): valors extrems, màxim i mínim, observats; x: valor mitjà; (*) valors atípics; la caixa indica els percentils 75 % i 25 %, entre els dos límits queden incloses el 50 % de les observacions.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 8

Distribució de l'amplada de la garrofa (mm) en les tres poblacions del BNGG

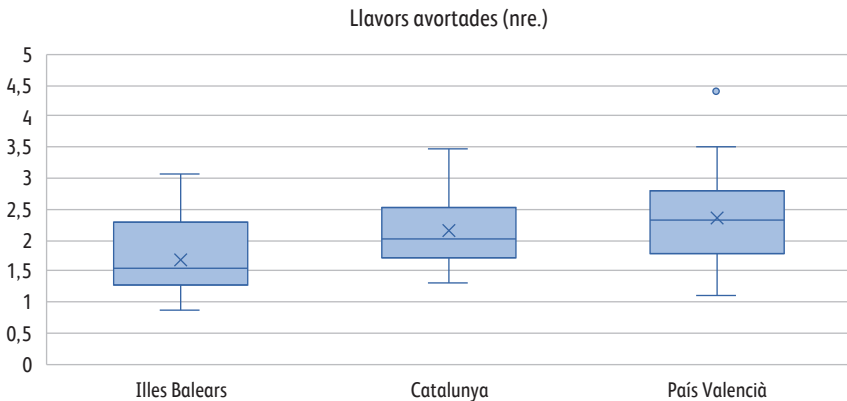


NOTA: (—): valors extrems, màxim i mínim, observats; x: valor mitjà; (°) valors atípics; la caixa indica els percentils 75 % i 25 %, entre els dos límits queden incloses el 50 % de les observacions.

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 9

Distribució del nombre de llavors avortades en les tres poblacions del BNGG



NOTA: (—): valors extrems, màxim i mínim, observats; x: valor mitjà; (°) valors atípics; la caixa indica els percentils 75 % i 25 %, entre els dos límits queden incloses el 50 % de les observacions.

FONT: Elaboració pròpia.

garrofins avortats (2,37 de mitjana), i oscil·laven entre 1,09 (costella de burro) i 4,4 (matalafera Bugarra).

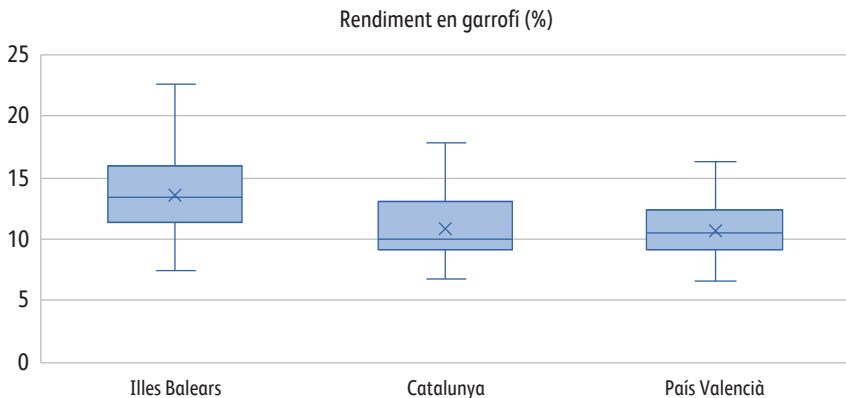
e) *Rendiment en garrofi* (figura 10). El rendiment més elevat el van presentar les varietats de les Illes Balears amb un 13,72 % de mitjana, i valors que van oscil·lar entre 22,69 % (bord granja) i 7,52 % (s'hort des mestres). Les de Catalunya, amb una mitjana d'11,15 %, van mostrar valors entre el 17,94 % (València) i el 6,74 % (mixto Santa Bàrbara). Les varietats del País Valencià, amb rendiments en garrofi inferiors (10,59 % de mitjana), van oscil·lar entre el 16,32 % (costella de burro) i el 6,68 % (punt anglès).

Coincideix que les garrofes amb més pes i més llargues són les garrofes del País Valencià, per la qual cosa es pot afirmar que són les més grans quan es comparen amb les garrofes de les poblacions de les varietats de Catalunya i de les Illes Balears. Alhora, també són les varietats que presenten un nombre més elevat de llavors avortades i menys rendiment en garrofi, caràcters importants per tenir en compte actualment des del punt de vista comercial.

Les diferències observades en rendiment en garrofi a les tres poblacions poden reflectir la selecció feta pels agricultors al llarg del temps per a millorar determinats caràcters: alt contingut en polpa (rendiment baix en garrofi) o alt contingut en garrofi (rendiment alt en garrofi i poques llavors avortades).

FIGURA 10

Rendiment en garrofi (%) de les tres poblacions del BNGG



NOTA: (—): valors extrems, màxim i mínim, observats; x: valor mitjà; (°) valors atípics; la caixa indica els percentils 75 % i 25 %, entre els dos límits queden incloses el 50 % de les observacions.

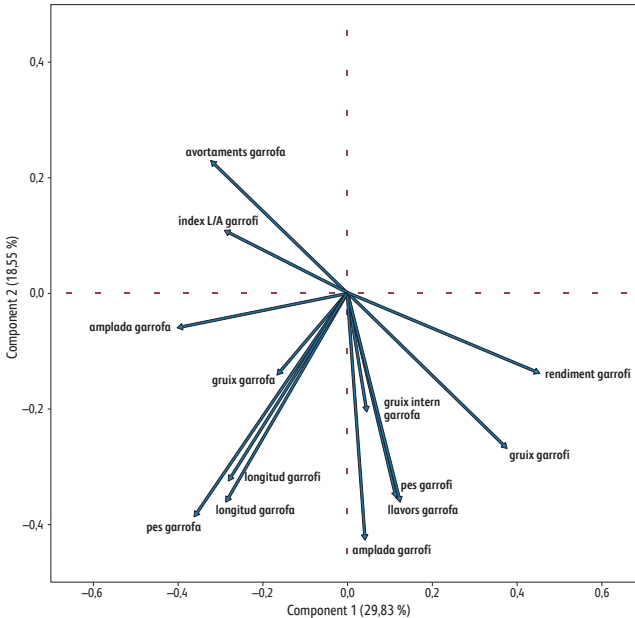
FONT: Elaboració pròpia.

3.3. Anàlisi de components principals

L'anàlisi de components principals (ACP) duta a terme per tal d'identificar agrupacions entre les varietats de les diferents poblacions (figures 11, 12 i 13), amb les tretze variables pomològiques estudiades (set caràcters de garrofa i sis de garrofi), mostra que les dues primeres components principals expliquen el 48,38% de la variància total. La component 1 n'és responsable del 29,83% i la component 2, del 18,55%. Al quadrant superior esquerre (figures 11 i 12), es troben les varietats amb un nombre elevat de llavors avortades (Martí II i mixto Santa Bàrbara, de Catalunya). En sentit oposat, quadrant inferior dret, hi ha les varietats amb un alt rendiment en garrofi (bord granja de les Illes Balears). Al quadrant inferior esquerre es posicionen les varietats amb la garrofa més gran: lindar (País Valencià) i llei d'Aldover (Catalunya). També s'observa que hi ha un cert grau d'estructura geogràfica, ja que les varietats d'origen balear mostren un rendiment en garrofi més alt i un nombre de llavors avortades més baix, la qual cosa les diferencia de les altres dues procedències.

FIGURA 11

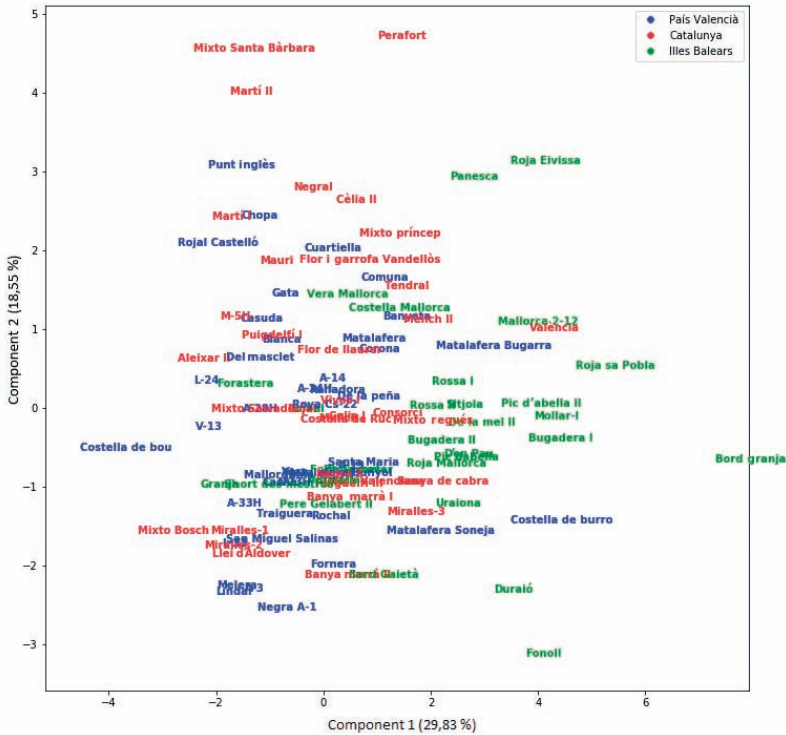
Anàlisi de components principals (ACP) desenvolupada a partir de tretze variables mesurades de 106 varietats de garrofer del BNGG



FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 12

Anàlisi de components principals (ACP) desenvolupada a partir de tretze variables mesurades i tres poblacions (Catalunya, Illes Balears, País Valencià) de 106 varietats de garrofer del BNGG

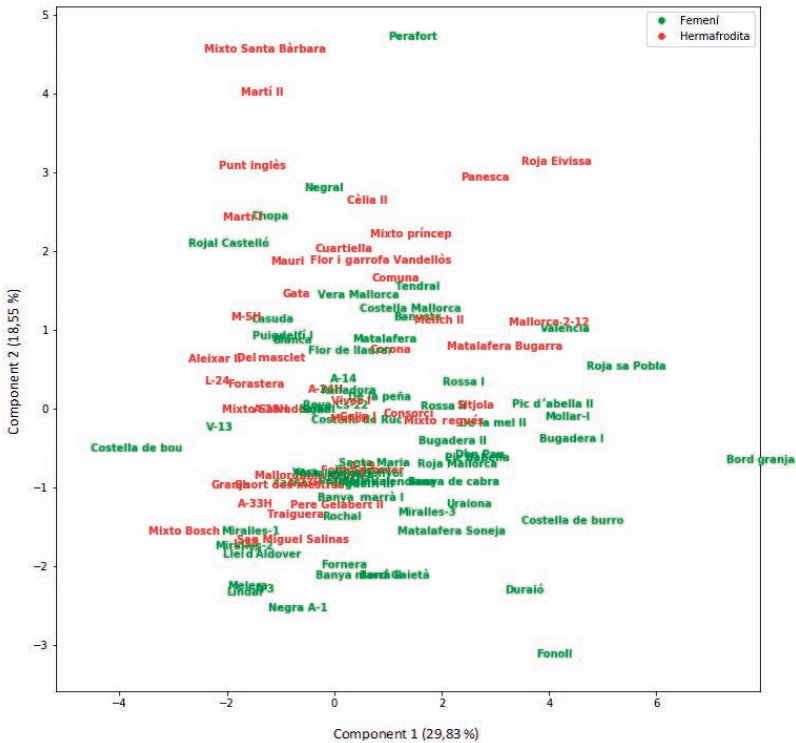


FONT: Elaboració pròpia.

L'ACP sobre els caràcters morfològics del fruit i del garrofi mostra una clara separació entre les varietats femenines i les varietats hermafrodites, aquestes darreres presenten un rendiment en garrofi inferior i un nombre més elevat de llavors avortades (figures 11 i 13). Les varietats femenines bord granja, fonoll i roja sa Poble, d'origen balear, destaquen perquè presenten un rendiment en garrofi elevat (22,69% la bord granja) i un nombre de llavors avortades inferior a 1. Les varietats hermafrodites balears Mallorca 2-12 i Sitjola presenten molt bones característiques de rendiment en garrofi (17,73% i 16,69%, respectivament). La varietat valenciana costella de burro i la catalana València mostren també característiques interessants de rendiment en garrofi i nombre de llavors avortades.

FIGURA 13

Anàlisi de components principals (ACP) desenvolupada a partir de tretze variables mesurades i dos sexes (64 de femení i 42 d'hermafrodita) de 106 varietats de garrofer del BNGG



FONT: Elaboració pròpia.

Cal destacar la varietat mallorquina duraíó (figura 14), una varietat que s'està recomanant per a noves plantacions, que presenta unes bones característiques de fruit (pes de la garrofa: 16,51 g, nombre de llavors avortades: 1,15 i rendiment en garrofi: 15,84%), i, a més, dona una bona producció (Tous *et al.*, 2009).

3.4. Caracterització molecular. Estructura genètica

L'anàlisi de la diversitat i de l'estructura poblacional de 215 varietats, originàries de dotze països, col·leccionades al BNGG utilitzant vuit marcadors moleculars d'ADN i un

FIGURA 14

Garrofes i garrofins de la varietat duraió

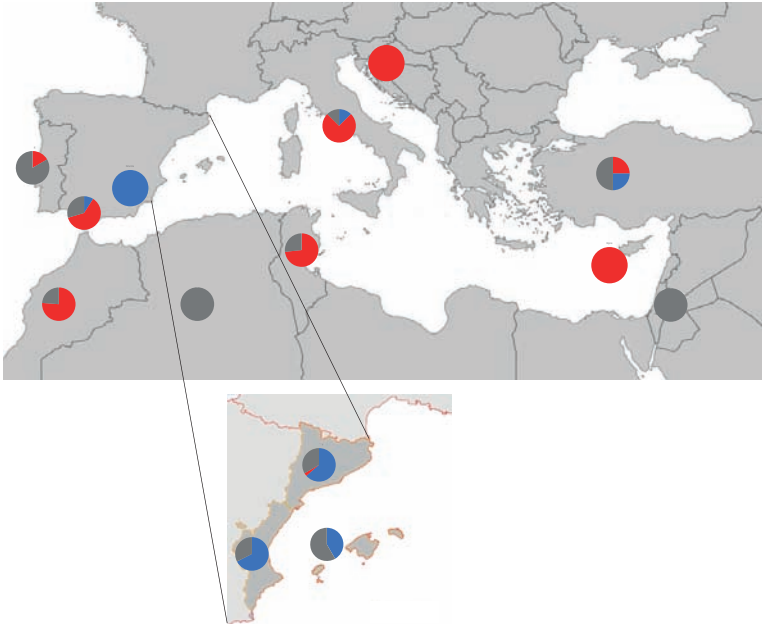


FONT: IRTA.

marcador (matK4LF) d'ADN cloroplàstic, ha determinat que el nombre més probable de grups genètics present en aquesta col·lecció és de dos, és a dir, mostra una estratificació de la població per a $K = 2$ (Di Guardo *et al.*, 2019) (figura 15). Les varietats d'origen croat, italià, xipriota, tunisià, marroquí i andalús pertanyen predominantment a un grup genètic homogeni (població 2, de color vermell a la figura 15), cosa que suggereix l'existència d'un passat comú en els materials de garrofer d'aquests països mediterranis i Andalusia. D'altra banda, l'altre grup genètic (població 1, de color blau a la figura 15) té una forta presència en les varietats dels Països Catalans i de Múrcia. Les varietats catalanes i valencianes pertanyen preferentment a aquest grup genètic de la població 1, i les varietats balears presenten majoritàriament una barreja d'ambdós grups genètics (varietats barreja o mosaic, de color gris a la figura 15), i minoritàriament el grup genètic de la població 1. En general, les tres poblacions dels Països Catalans presenten un component de barreja; equilibrat amb el grup genètic de la població 1, en el cas de les poblacions de

FIGURA 15

Grups genètics a partir de l'anàlisi de marcadors moleculars d'ADN (8 SSR), a 215 varietats del BNGG



NOTA: Blau: població 1; vermell: població 2; gris: grup barreja o mosaic. Gràfic ampliat: grups genètics de les varietats de Catalunya (33), les Illes Balears (24) i el País Valencià (37).

FONT: Elaboració pròpia a partir de Di Guardo *et al.* (2019).

Catalunya i del País Valencià, i majoritari en el cas de la població de les Illes Balears. De les tres poblacions estudiades en aquest article, només a la de Catalunya es troba una varietat (València) que pertanyi al grup genètic de la població 2, el majoritari en la resta de països mediterranis.

4. Consideracions finals

Dels resultats obtinguts de la caracterització de les varietats dels Països Catalans del BNGG, es pot concloure el següent:

— Algunes varietats, tot i estar definides com a femenines, hermafrodites o masculines, presenten flors de diferents sexes; aquest fet és més o menys marcat depenent del factor any.

— S'ha posat de manifest una gran diversitat en la morfologia d'alguns òrgans de les flors de garrofer.

— S'han observat diferències significatives amb relació a les característiques del fruit. Les varietats del País Valencià són les que presenten els fruits més grans (pes, longitud i amplada de la garrofa). Les varietats de les Illes Balears tenen un rendiment en garroffí més elevat.

— Les varietats femenines presenten un rendiment en garroffí més elevat i un nombre de llavors avortades inferior que les varietats hermafrodites.

— Les varietats femenines de les Illes Balears són les més interessants, atenent la demanda actual del mercat (varietats amb un elevat rendiment en garroffí).

— S'han determinat dos grups genètics al BNGG. Majoritàriament, les poblacions dels Països Catalans pertanyen a un mateix grup genètic, compartit amb la població de Múrcia.

Agraïments

A l'Institut Nacional d'Investigació i Tecnologia Agrària i Alimentària (INIA) i al Ministeri d'Economia i Competitivitat, pel finançament des de l'any 1997 del Banc Nacional de Germoplasma de Garrofer de l'IRTA, i al Programa CERCA de la Generalitat de Catalunya. Els autors volen agrair també la feina duta a terme pel personal de suport de l'IRTA i pels estudiants que han col·laborat en la presa de dades i en la caracterització del material de garrofer conservat.

Bibliografia

- BATLLE, I. (1985). *El algarrobo en la provincia de Tarragona, estudio, situación y posibilidades*. Beca de la Diputació Provincial de Tarragona. 453 p. [Exemplar mecanografiat no publicat]
- BATLLE, I.; TOUS, J. (1990). «Cultivares autóctonos de algarrobo (*Ceratonía siliqua*, L.) en Cataluña». *Investigación Agraria*, vol. 5 (2), p. 223-238.
- (1997). *Carob tree. Ceratonía siliqua L.: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 17. Roma, Itàlia: Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung: International Plant Genetic Resources Institute. 92 p.
- BATLLE, I.; TOUS, J.; RALLO, J. (2000). «Importancia ecológica y económica del algarrobo en las Islas Baleares». *Quercus*, núm. 167, p. 41-44.
- BOLÒS, O. de; VIGO, J.; MASALLES, R. M.; NINOT, J. M. (1990). *Flora manual dels Països Catalans*. Barcelona: Pòrtic, p. 188.

- CAJA, G.; CASANOVA, R.; CABOT, A. (1984). *El algarrobo (Ceratonia siliqua, L.): su cultivo y posibilidades agropecuarias en Baleares: Avances de resultados*. Palma de Mallorca: Caja de Ahorros «Sa Nostra». 103 p. [Exemplar mecanografiat]
- DI GUARDO, M.; SCOLLO, F.; NINOT, A.; ROVIRA, M.; HERMOSO, J. F.; DISTEFANO, G.; MALFA, S. la; BATLLE, I. (2019). «Genetic structure analysis and selection of a core collection for carob tree germplasm conservation and management». *Tree Genetics & Genomes*, vol. 15, p. 41. També disponible en línia a: <<https://doi.org/10.1007/s11295-019-1345-6>>.
- FOLCH I GUILLÈN, R. (1981). *La vegetació dels Països Catalans*. Barcelona: Ketres. 516 p.
- GOLDBLATT, P. (1981). «Cytology and the phylogeny of the Leguminosae». A: POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. (ed.). *Advances in legume systematics*. Vol. 2. Kew, Anglaterra: Royal Botanic Gardens, p. 427-464.
- HASELBERG, C. V. (1988). «A contribution to the classification and characterization of female and male varieties of *Ceratonia siliqua* L.». A: FITO, P.; MULET, A. (ed.). *Actes del II Simposium Internacional sobre la Garrofa*. València: Generalitat Valenciana, p. 137-151.
- LINSKENS, H. S.; SCHOLTEN, W. (1980). «The flower of carob». *Portg. Acta Techn.*, vol. 45 (3), p. 115-120.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, G. A. (2001). *Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Tom II. Madrid: Mundi Prensa, p. 883-887.
- MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; RODRÍGUEZ-BARRUECO, C. (1982). «Studies in nitrogenase activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) callus cultures associated with *Rizhobium*». A: *Proceedings V International Congress Plant Tissue Culture*. Tòquio: Japanese Association for Plant Tissue Culture, p. 671-672.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (MAPAMA) (2021). *Anuario de estadística agraria* [en línia]. <www.mapama.gob.es> [Data de consulta: maig 2021].
- RETANA, J.; RAMONEDA, J.; GARCIA DEL PINO, F. (1990). «Importancia de los insectos en la polinización del algarrobo». *Boletín de Sanidad Vegetal: Plagas*, vol. 16 (1), p. 143-150.
- RODRÍGUEZ, J.; FRUTOS, D. (1988). «Primeros estudios sobre las poblaciones de algarrobo (*Ceratonia siliqua*, L.) en el sureste y sur de España». A: FITO, P.; MULET, A. (ed.). *Actes del II Simposium Internacional sobre la Garrofa*. València: Generalitat Valenciana, p. 255-264.
- ROFES, J. (2019). *Caracterització de noves varietats de garrofer*. Treball de recerca de batxillerat. 49 p.
- ROVIRA, M.; ALETÀ, N.; NINOT, A.; BATLLE, I. (2014). «Bancos de germoplasma de frutos secos y desecados en el IRTA: avellano, nogal y algarrobo». *Actas de Horticultura de la SECH*, vol. 69, p. 23-24.
- ROVIRA, M.; TOUS, J. (1999). «Biología floral del algarrobo». *Actas de Horticultura de la SECH*, vol. 26 (3), p. 106-112.

- TOUS, J.; BATLLE, I. (1990). *El algarrobo*. Madrid: Mundi Prensa. 102 p.
- TOUS, J.; BATLLE, I.; RALLO, J.; ROMERO, M. (2001). «Prospección de variedades de algarrobo en las islas Baleares». *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, vol. 16 (2), p. 187-204.
- TOUS, J.; BATLLE, I.; ROMERO, A. (1995). «Prospección de variedades de algarrobo en Andalucía». *Información Técnica Económica Agraria*, vol. 91V (3), p. 164-174.
- TOUS, J.; OLARTE, M. J.; TRUCO, M. J.; ARÚS, P. (1992). «Isozyme polymorphisms in carob cultivars». *Hort Science*, vol. 27 (3), p. 257-258.
- TOUS, J.; ROMERO, A.; BATLLE, I. (2013). «The carob tree: Botany, horticulture and genetic resources». *Horticultural Reviews* [New Jersey: Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Inc.], vol. 41, p. 385-456.
- TOUS, J.; ROMERO, A.; HERMOSO, J. F.; NINOT, A.; PLANA, J.; BATLLE, I. (2009). «Agronomic and commercial performance of four Spanish carob cultivars». *HortTechnology*, vol. 19 (2), p. 465-470.
- TOUS, J.; ROVIRA, M.; ROMERO, A.; AFIF, M.; KHOUJA, M.; NAGHMOUCHI, S.; BOUSSAID, M. (2006). «Carob tree germplasm in Tunisia». *FAO Nucis-Newsletter*, núm. 13, p. 55-59.
- TUCKER, S. C. (1992). «The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Caesalpinioideae: Cassieae)». *American Journal of Botany*, vol. 79 (3), p. 318-327.
- ZOHARY, M. (1973). *Geobotanical foundations of the Middle East*. Stuttgart: Fisher. 370 p.