
LA MILLORA DE LA CARXOFA (*CYNARA SCOLYMUS* L.) AL BAIX LLOBREGAT

**Francesc Casañas, Lluís Bosch, Juli Montserrat, Xavier Pla,
Oriol Roca**

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia
i Fundació Miquel Agustí. Universitat Politècnica de Catalunya

RESUM

Malgrat la importància econòmica del cultiu de la carxofa al Baix Llobregat les millores tecnològiques han estat escasses els darrers anys. Per contribuir a corregir aquesta situació, la tardor del 2007 es va iniciar un programa de selecció clonal per producció i qualitat comercial en la carxofa blanca de Tudela (la varietat tradicionalment cultivada a la zona), partint d'unes 194.000 plantes distribuïdes en 17 camps d'explotació comercial. A la tardor del 2008, mitjançant estaqües, es van plantar en un mateix camp experimental i amb un disseny amb rèpliques les descendències dels individus seleccionats, controlant-ne durant dos anys consecutius l'arquitectura de les plantes i la seva producció.

Del conjunt d'assaigs es dedueix que la variació ambiental supera la variació genètica. Per tant, la millora de la carxofa cultivada al Baix Llobregat s'hauria de començar a abordar incidint en el maneig del cultiu i les tècniques de clonació. No obstant això, s'ha seleccionat un clon amb molt bon comportament productiu, baix nombre de cardets i alt nombre de fillols. Si aquestes característiques es mantinguessin en la segona generació de clonació tindríem consolidada una bona producció amb una massa vegetativa reduïda. En canvi, no s'ha tingut èxit en la recerca de plantes productores de carxofes que tot mantenint la tipologia blanca de Tudela tinguessin algun distintiu afegit en la carxofa que permetés disposar d'una marca diferencial del Baix Llobregat.

PARAULES CLAU: carxofa, millora genètica, correlacions entre caràcters, efectes ambientals, recomanacions pràctiques.

Correspondència: Francesc Casañas. Edifici ESAB. C. Esteve Terrades, 8. Campus del Baix Llobregat. Universitat Politècnica de Catalunya. 08860 Castelldefels. Barcelona. Tel.: 935 521 215. A/e: *francesc.casanas@upc.edu*.

LA MEJORA DE LA ALCACHOFA (*CYNARA SCOLYMUS* L.) EN EL BAIX LLOBREGAT

RESUMEN

A pesar de la importancia económica del cultivo de la alcachofa en el Baix Llobregat, las mejoras tecnológicas han sido escasas en los últimos años. Para contribuir a corregir esta situación, en otoño del 2007 se inició un programa de selección clonal para producción y calidad comercial en la alcachofa blanca de Tudela (la variedad tradicionalmente usada en la zona), partiendo de unas 194.000 plantas distribuidas en 17 campos de explotación comercial. En otoño de 2008, mediante esquejes, se plantaron en un mismo campo experimental y siguiendo un diseño con réplicas las descendencias de los individuos seleccionados, controlándose durante dos años consecutivos la arquitectura de las plantas y su producción.

Del conjunto de ensayos se dedujo que la variación ambiental supera a la variación genética. Por lo tanto, la mejora de la alcachofa cultivada en el Baix Llobregat debería empezar a abordarse incidiendo en el manejo del cultivo y las técnicas de clonación. A pesar de ello se ha seleccionado un clon con muy buen comportamiento productivo, con bajo número de brotes principales y elevado número de ramificaciones secundarias. Si estas características se mantuvieran en la segunda generación de clonación tendríamos una buena producción asociada a una reducida masa vegetativa. En cambio, no se consiguieron seleccionar plantas productoras de alcachofas que manteniendo la tipología blanca de Tudela tuvieran algún distintivo añadido en la alcachofa que permitiera disponer de una marca diferencial del Baix Llobregat.

PALABRAS CLAVE: alcachofa, mejora genética, correlaciones entre caracteres, efectos ambientales, recomendaciones prácticas.

IMPROVEMENTS TO ARTICHOKE (*CYNARA SCOLYMUS* L.) PRODUCTION IN THE BAIX LLOBREGAT AREA

ABSTRACT

Although artichokes are an important crop in the Baix Llobregat area, technological improvements have been poor in recent years. To help correct this situation, in autumn 2007 a clone breeding programme was launched, with 194,000 plants distributed in 17 fields of commercial exploitation. In autumn 2008, cuttings from the selected plants were planted in a single trial field and following a design with replicas. During two consecutive years both the architecture of the plants and yield were controlled.

Results showed that environmental variation was more important than genetic variation. Consequently, the improvement of the artichoke cultivated in the Baix Llobregat should be tackled through culture management and cloning techniques. Nevertheless, a clone with very good yield, low number of shoots and high number of buds was selected. If these traits appear stable in the second cloning generation the result would be a variety with good production and reduced vegetative mass. What is more, the process failed to produce an artichoke plant that, whilst maintaining the blanca de Tudela morphology, developed a distinctive trait to distinguish it as being from the Baix Llobregat.

KEYWORDS: Artichoke, breeding, correlations between traits, environmental effects, practical advice.

1. INTRODUCCIÓ

Un 75 % de la producció mundial de carxofa està concentrat a la Mediterrània, i Espanya, amb un 16 %, n'és el segon país productor darrere d'Itàlia (FAO, 2010). Catalunya produeix el 8,4 % del global de l'Estat espanyol, principalment a Tarragona i Barcelona (DAR, 2010).

A Espanya, després d'un cim de producció el 1990 (31.100 ha i 427.900 tones), s'ha experimentat un descens continuat fins a la quasi meitat actual. Dins d'aquesta tendència, el ritme de disminució a Catalunya ha estat dels més elevats de l'estat. (Ministeri de Medi Ambient Rural i Marí d'Espanya, 2010).

Les causes d'aquesta disminució s'han de buscar en el descens dels beneficis dels productors relacionats amb l'increment dels costos de producció i els escassos canvis tecnològics al voltant d'aquest cultiu. Fa quasi trenta anys, el 1983, en una jornada sobre la carxofa, s'explicava que: «La principal varietat conreada a Catalunya és la blanca de Tudela, encara que la majoria de vegades el que es troba en un camp és un conjunt de diferents poblacions pel fet de no existir un control de la puresa varietal» (Espelta *et al.*, 1983). El temps ha passat però els coneixements que tenim sobre l'estructura de les poblacions cultivades a la zona del Baix Llobregat segueixen essent escassos i els productors segueixen trobant moltíssima variabilitat fenotípica, que no sabem en quina mesura és genètica i/o ambiental, i que es manifesta en produccions allunyades de les òptimes.

Des del punt de vista del germoplasma, la carxofa és un dels conreus en què els estudis de la variabilitat i la millora genètica són més escassos. Tenim solament algunes descripcions morfològiques de varietats italianes (Nisini, 2007; Mauro *et al.*, 2007). També a Itàlia s'han realitzat seleccions clonals de la varietat *spinoso sardo* (Pisanu, 2005), mentre a Espanya s'han obtingut no-

ves varietats a partir d'encreuaments intervarietals sense que hagin tingut èxit comercial (López *et al.*, 2005). També a partir d'encreuaments s'han obtingut noves varietats a Itàlia (Papalini *et al.*, 2005, Zuccherelli *et al.*, 2005), país on més s'intenta innovar al voltant d'aquest cultiu. Dels efectes ambientals, però, el poc que sabem fa pensar que són molt importants (García *et al.*, 2005).

Històricament les carxofes de l'horta del Baix Llobregat es compraven a Tudela, argumentant que el vigor que se n'obtenia el primer any era superior al de les plantes clonades directament a partir d'exemplars cultivats al Baix Llobregat. La situació no ha variat gaire malgrat que hi ha alguns agricultors que multipliquen les seves carxofes i fins i tot n'hi ha que fan selecció cap a una morfologia que els sembla més productiva. El protocol d'actuació dels productors d'estaques de Tudela basat en: *a)* eliminació únicament de les plantes fora tipus com ara caps de mort, caps de gat, etc. i *b)* rotació permanent dels camps, amb un any de cultiu de carxofa i cinc de cultius alternatius, garanteix la sanitat de les estaques venudes però afavoreix que s'acumulin les mutacions somàtiques que no es manifestin en canvis dràstics de la morfologia. Això per no parlar de les estaques procedents d'altres llocs de l'estat, on el control de l'homogeneïtat i l'estat sanitari són molt més eficients.

Un passeig pels camps de producció del Baix Llobregat revela que, com fa trenta anys, hi ha una gran variabilitat fenotípica, la qual cosa no és bona per als interessos de l'agricultor, perquè sempre podem pensar que si totes les plantes fossin semblants a la millor, els beneficis serien molt més grans.

Partint de la molt probable acumulació de variabilitat genètica en els materials procedents de Tudela i per tal de proporcionar als agricultors del Baix Llobregat eines per optimitzar el cultiu, ens vam proposar: *a)* seleccionar un clon genèticament superior per a producció, *b)* seleccionar individus amb morfologia de la carxofa diferent de la típica de la blanca de Tudela, de manera que es pogués disposar d'una variant pròpia per a cultivar a la zona del Baix Llobregat, *c)* determinar en quina mesura l'extraordinària variabilitat detectada a escala fenotípica es pot atribuir a efectes genètics o a efectes ambientals i proposar accions prioritàries per millorar la producció de la carxofa del Prat.

2. MATERIAL I MÈTODES

2.1. Selecció d'un clon per a producció elevada

2.1.1. *Material vegetal i procés de selecció*

La selecció es va dur a terme en parcel·les comercials de la comarca del Baix Llobregat (Barcelona), a partir d'un conjunt d'unes 194.000 plantes de

la varietat blanca de Tudela o blanca del Prat (els dos noms són sinònims). El mes de novembre del 2007 es va iniciar la identificació de les plantes amb característiques de tres cardets (tiges principals de la carxofera) amb tres fillols (ramificacions primàries de les tiges principals) per cardet, ja que els agricultors consideraven que les plantes amb aquesta arquitectura eren les més productives. Ràpidament es va constatar, però, que aquest idiotip no era l'únic que donava (en cas que fos així) produccions superiors. Per això les dimensions de les capsas, el nombre total de cardets i de fillols, i altres característiques de vigor es van incloure en el procés de selecció. Es triaven sempre plantes amb competència (amb plantes al seu voltant), per evitar seleccionar plantes superiors simplement per efectes ambientals, i a la vegada que produïssin carxofes amb formes ovalades, no gaire allargades i amb clot apical. S'evitava escollir plantes amb carxofes toves, o productores de carxofes amb punxes als extrems de les bràctees. Tampoc no es van escollir plantes sensibles a *Ascochyta hortorum* o bé a la fisiopatia del «rovell de cap». Al final d'aquest primer procés es van seleccionar 5.517 plantes. Aquestes es van controlar durant mitja campanya i amb les dades obtingudes se'n van elegir finalment 387 de les quals es va fer un seguiment exhaustiu fins al final del cultiu.

De cada una de les 387 plantes estudiades al llarg de tot el cicle productiu es van controlar: *a)* nombre de cardets, *b)* nombre de fillols, *c)* nombre de fillols en el primer cardet, *d)* nombre de refillols i *e)* nombre de carxofes.

El criteri utilitzat per a decidir quines d'entre les 387 plantes es clonaven i passaven a estudiar-se conjuntament (les plantes elegides procedien de molts camps diferents i es trobaven en estadis fisiològics també diferents), fou fonamentalment el de la producció elevada respecte a la resta de plantes del camp on es trobava. És a dir, vam fer selecció principalment dins del camp.

2.1.2. Clonació i plantació

Les plantes seleccionades van ser retirades del camp seguint les necessitats dels productors; alguns d'ells volien aixecar el cultiu immediatament al juny. Si l'agricultor pensava continuar l'explotació de les carxofes durant un any més, les carxofes elegides es treien més tard, intentant que passés el menor temps possible entre l'extracció de la carxofera i la seva multiplicació vegetativa i tornada al camp. Les plantes es van començar a arrencar a principi de juny i es va finalitzar la feina a mitjan juliol. Una vegada arrencades eren conservades en una cambra freda a 6 °C i humitat a saturació.

A partir de la meitat d'agost es va començar el procés de clonació i plantació. El temps que cada clon va romandre a la cambra depenia del moment en què es va haver d'arrencar. Aquest període anava des de 44 fins a 100 dies.

Abans de realitzar la plantació definitiva les plantes es van fer arrelar en testos prèviament tractades amb Montcut, amb una concentració de 2 g/l per a combatre els fongs vasculars que ataquen el coll de la planta, i Agritone, a una concentració d'1,5 g/l, per tal d'estimular l'arrelament dels plançons en els testos. Quan els brots dels plançons assolien uns 20 o 25 cm d'alçada eren trasplantats al camp d'experimentació.

Les mares, segons el volum que tenien la base de la tija i l'arrel, es dividien en parts iguals, intentant que les diferents estakes (rèpliques) tinguessin el mateix volum de part radicular i de nombre de borrons (de dos a tres borrons per estaca, aproximadament). El nombre de clons que s'obtenien de cada carxofera variava en funció de les seves dimensions i del nombre de borrons. Es van descartar, però, aquelles de les quals no es podien obtenir almenys quatre rèpliques.

La plantació dels plançons es va fer esglaonadament ja que no es disposava de suficient mà d'obra per clonar controladament i disposar el material al camp. Això va provocar un retard en l'entrada a producció dels clons que es van plantar més tard.

2.1.3. *Estudi de les descendències: disseny experimental i caràcters controlats*

L'assaig de comparació del material multiplicat vegetativament es va fer als terrenys de la masia Can Comes, al municipi del Prat de Llobregat. Es va emprar un disseny de quatre blocs aleatoritzats, on a cada bloc hi havia un mínim d'una rèplica de cada mare seleccionada. El nombre màxim de rèpliques per mare i bloc va ser de quatre. El marc de plantació va ser d'1 × 1 m (1 planta/m²), el reg va ser per gravetat i el maneig del cultiu es va portar seguint les pràctiques habituals a la zona.

Al llarg de dos anys (2008-2010) es van controlar planta per planta les característiques agromorfològiques dels diferents clons, juntament amb la producció de les diverses peces.

Les dades obtingudes es van sotmetre a l'anàlisi de la variància (ANOVA), segons el model lineal: $x_{ijk} = \mu + m_i + a_j + m_i a_j + \varepsilon_{ijk}$, on m és l'efecte mare, a és l'efecte any i ε és l'error associat a cada observació $_{ijk}$. Per als càlculs de correlacions es va utilitzar l'estimador r proposat per Pearson. Tots els càlculs es van realitzar mitjançant el paquet estadístic SAS (SAS Institute, 1999).

2.2. Selecció de clons amb peculiaritats morfològiques de la carxofa

En iniciar aquest procés de selecció no sabíem quin grau de variabilitat morfològica trobaríem entre les carxofes. Teníem clar, però, que les diferències que buscàvem havien de ser prou importants per ser identificades clarament pels consumidors. Aquesta seria una bona manera de consolidar una marca associada a la carxofa del Prat.

2.2.1. *Material vegetal i procés de selecció*

Les carxofes amb característiques morfològiques diferencials es van buscar en els mateixos camps on es cercaven carxofes especialment productives descrits en l'apartat anterior. Es tractava ara d'identificar clons que tinguessin un caràcter diferencial suficientment important perquè els seus fruits fossin clarament distingibles dels de la blanca de Tudela estàndard. Cercàvem, doncs, fruits fora tipus que portessin incorporada una marca de fàbrica com succeeix per exemple a la mongeta del ganxet amb la morfologia del gra. Aquesta marca es podria associar a un producte típic de la zona del Baix Llobregat i eventualment a un reconeixement com ara una indicació geogràfica protegida (IGP).

En el procés d'identificació de candidats era molt important que el tipus detectat es repetís dins del camp, ja que això era indicador que la mutació s'havia produït en generacions anteriors al nostre control i que s'havia conservat a través del procés de clonació. La tria de casos únics hauria presentat el risc de ser una simple conseqüència d'efectes ambientals, o en cas que realment fossin modificacions degudes a mutació somàtica, podria ser que el seu grau de persistència en les estakes filles fos baixa o nul·la.

2.2.2. *Clonació, plantació i estudi de les descendències*

Les plantes seleccionades, que pertanyen a diverses morfologies recurrents dins d'un mateix camp de selecció, van ser clonades seguint el protocol descrit més amunt. La disposició al camp de comparació a la masia de Can Comes va ser idèntica a la realitzada per a la comparació de mares seleccionades per a producció. A cada planta del camp de comparació es van controlar únicament les característiques morfològiques de les carxofes per a les quals la mare havia estat elegida, valorant en una escala de 0 a 10 l'expressió del caràcter tant a les plantes amb «marca» com a les plantes testimoni. L'objectiu era en aquest cas comprovar en quina mesura les característiques de la «marca» es conservaven durant el procés de multiplicació vegetativa i en condicions ambientals diferents de les del camp on havien estat identificades.

2.3. Efectes genètics i ambientals en els caràcters agronòmics i morfològics

2.3.1. *Comparació d'una població seleccionada amb una població procedent de Tudela*

Es van comparar dues poblacions de primer any instal·lades en una mateixa parcel·la: un material procedent de Tudela i una multiplicació feta pel productor, el senyor Albert Bou, a partir d'una població que feia quinze anys que reproduïa i seleccionava.

2.3.1.1. Material genètic

La població de Tudela era del tipus blanca de Tudela estàndard, tal com solen arribar les estakes de sembra procedents d'aquest origen. En la població del senyor Bou s'havia fet selecció sobretot per obtenir carxofes amb tendència a tenir forma esfèrica, plantes vigoroses i òbviament per eliminar caps de mort, caps de gat, etc.

2.3.1.2. Disseny experimental

Les dues poblacions (660 plantes de la població Bou i 160 de la de Tudela) estaven una al costat de l'altra en una parcel·la petita i de sòl aparentment uniforme. Durant el cultiu no es va notar cap tipus de gradació especial ni vegetativa ni reproductiva. Tampoc no hi van haver clapes diferenciades.

La densitat de plantació era una mica diferent respecte de les parcel·les comercials amb un marc de plantació d'1 × 0,6 m. El reg que es va dur a terme era per gravetat i les recol·leccions que s'efectuaven eren setmanals.

Es van controlar: *a*) interval de producció, *b*) nombre de cardets per carxofera, *c*) Nombre de fillols per carxofera, *d*) nombre de carxofes per carxofera, *e*) producció mitjana per carxofera, *f*) producció mitjana per dia i carxofera, *g*) pes mitjà de cada carxofa, *h*) nombre mitjà de carxofes collides per dia i carxofera i *i*) data d'entrada en producció.

Sobre les dades recollides es va dur a terme una anàlisi estadística descriptiva per a poder detectar diferències significatives entre les mitjanes de la població seleccionada i de la població acabada de portar de Tudela. La comparació de mitjanes es va fer en aquest experiment i en la resta utilitzant la mínima diferència significativa (mds) i acceptant com a límit de significació una $p \leq 0,05$.

2.3.2. *Comparació dels camps d'origen de les mares respecte del comportament de les plantes clonades i estudiades juntes en el mateix camp*

Aprofitant les dades enregistrades en el camp únic de comparació de descendències, on l'ambient era el mateix per a totes les plantes, vam intentar avaluar els efectes genètics que diferenciaven, si fos el cas, les poblacions dels diferents camps d'origen (vegeu en quina mesura les diferències entre les poblacions inicials es mantien quan tots els individus clonats es cultivaven en el mateix ambient). Per a fer les comparacions es van considerar tots els caràcters avaluats en l'assaig de produccions, i sobre les dades es va fer una ANOVA, en què es comparaven únicament els camps d'origen de les diferents descendències estudiades, utilitzant per a fer els contrastos estadístics el conjunt de clons procedents d'un camp, com a rèpliques.

2.3.3. *Tractament diferencial de les soques i estaquas: comparació de descendències plantades immediatament després d'arrencar la soca del camp originari i clonar amb soques conservades en cambra freda després d'arrencar la planta mare*

Es van agafar a l'atzar una cinquantena d'estaquas d'un dels camps (procedents de cinquanta soques diferents) i es van conservar en cambra frigorífica a 6 °C durant seixanta dies. En el moment d'iniciar el procés de plantació en testos se'n van agafar cinquanta estaquas directament del camp (procedents també d'unes altres cinquanta soques diferents) i es van trasplantar a testos com les altres. Teníem, així, dues sèries d'estaquas, una de les quals havia estat conservada en cambra freda després de la seva collita i l'altra plantada directament després d'arrencar i clonar.

Totes les estaquas es van disposar a l'atzar en el camp d'experimentació i durant dos anys se'n van controlar els caràcters agromorfològics. Sobre les dades obtingudes es va realitzar una ANOVA, en què es considerava el factor tractament (conservat / no conservat), el factor any i la interacció tractament per any.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1. Selecció d'un clon d'elevada producció

Durant els dos anys que va durar l'estudi de les descendències clonades es van morir algunes plantes. Per donar més consistència als resultats, en el procés d'anàlisi de dades per fer la selecció, només es van considerar els clons

dels quals en teníem un mínim de quatre rèpliques. Els factors principals i la interacció van resultar significatius per a quasi tots els caràcters (taula i).

TAULA I. *Resultats de l'anàlisi de la variància per als factors mare i any, i la interacció de tots dos, per als diversos caràcters estudiats, efectuada en el conjunt de mares que tenien almenys quatre rèpliques en el camp d'experimentació conjunta de les descendències clonades. Els valors corresponen a la probabilitat de significació de l'estadística F per a cada factor i caràcter*

Factor de variació	Producció	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols
Mare	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
Any	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Mare × any	0,0001	0,0001	0,0001	0,838

El segon any de producció es va observar un desenvolupament vegetatiu i productiu molt superior al del primer (taula II), potser degut a la plantació tardana dels clons. Per aquest motiu es va decidir utilitzar les dades del segon any com a informació sobre la qual aplicariem els criteris de selecció, quan els efectes ambientals del camp d'origen, manipulació durant la clonació i trasplantament, i implantació al camp, s'haguessin esmorteït parcialment.

TAULA II. *Comparació de mitjanes d'any per als diferents caràcters (mds ≤ 0,05). Producció expressada en g/planta*

Any	Producció	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols
2	3.090	5,91	9,32	4,40
1	1.813	2,70	6,13	2,96
mds	726	1,41	2,30	1,77

El primer grup de significació per producció era constituït per sis mares, el valor fenotípic mitjà de les quals es caracteritza per un nombre elevat de cardets o, en absència d'aquests, de fillols per cardet (taula III). Això indica que es pot assolir un elevat nivell productiu a partir d'un nombre elevat de cardets o d'un nombre elevat de fillols per cardet (taula III). El nombre de refillols sembla una dada menys important per determinar la producció final. Les mares 26 i 61 serien representants d'aquestes dues estratègies (taula III). En aquest context, la nostra proposta és elegir la mare 61, amb un nombre baix de cardets (6,4), elevat de fillols (14) i refillols (8,8). L'estratègia de les plantes amb elevada producció assolida a través d'un nombre elevat de cardets sembla poc recomanable pels problemes de maneig que

comporta i perquè s'allunya definitivament de l'idiotip inicialment proposat pels productors.

TAULA III. Comparació de les característiques (a través de l'estudi dels fills clonats) del grup de mares capdavanteres per producció (primer grup de significació en el segon any de cultiu) ($mds \leq 0,05$). Producció expressada en g/planta

Mare	Producció	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols
26	5.246	11,50	14,00	6,00
33	4.735	8,80	12,40	7,20
214	4.560	8,75	11,75	6,25
29	4.435	8,71	12,71	6,43
155	4.217	8,67	11,00	5,67
61	4.217	6,40	14,00	6,80
mds	1.206	2,38	3,78	2,59

3.1.1. Correlacions entre caràcters

3.1.1.1. Correlacions fenotípiques

Per al càlcul de les correlacions fenotípiques es van utilitzar les dades individuals de totes les plantes cultivades simultàniament en el camp de comparació de descendències. Les correlacions entre caràcters van mostrar que la producció està fortament correlacionada amb el nombre total de peces (capses + fillols + refillols), més que no pas amb combinacions lineals d'aquestes, que no van millorar la correlació amb el nombre total (taula IV).

TAULA IV. Correlacions fenotípiques (a la dreta de la diagonal) i genotípiques (a l'esquerra de la diagonal) entre caràcters. *** significatiu $p \leq 0,05$

	Producció	Nre. carxofes	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols
Producció		0,879***	0,822***	0,926***	0,081
Nre. carxofes	0,920***		0,832***	0,873***	0,454***
Nre. cardets	0,911***	0,899***		0,725***	0,063
Nre. fillols	0,937***	0,951***	0,792***		0,062
Nre. refillols	0,682***	0,915***	0,446***	0,638***	

Aquest aspecte és especialment rellevant ja que facilita la selecció per producció, ens estalvia el control del pes de les carxofes i ens permet proposar una equació de regressió per a estimar les produccions: $\text{producció} = 152,36 \times \text{nombre total de carxofes} - 48,97$. El coeficient de determinació d'aquesta funció és de $R^2 = 0,883$.

3.1.1.2. Correlacions genotípiques

Per a aquest càlcul es van utilitzar els valors fenotípics mitjans de totes les mares i caràcters (=valors genotípics), calculats amb les dades del segon any d'estudi. Els valors d'aquestes correlacions (taula iv) no difereixen gaire dels obtinguts per a les correlacions fenotípiques (taula iv), la qual cosa fa pensar que les correlacions ambientals o són baixes o són del mateix signe que les correlacions genotípiques. Aquesta situació és avantatjosa per a la selecció ja que, quan elegim plantes individuals tenint en compte el nombre de carxofes, de fet estem triant plantes que genèticament tindran una predisposició cap a produccions elevades.

3.2. Selecció de clons amb peculiaritats morfològiques de la carxofa

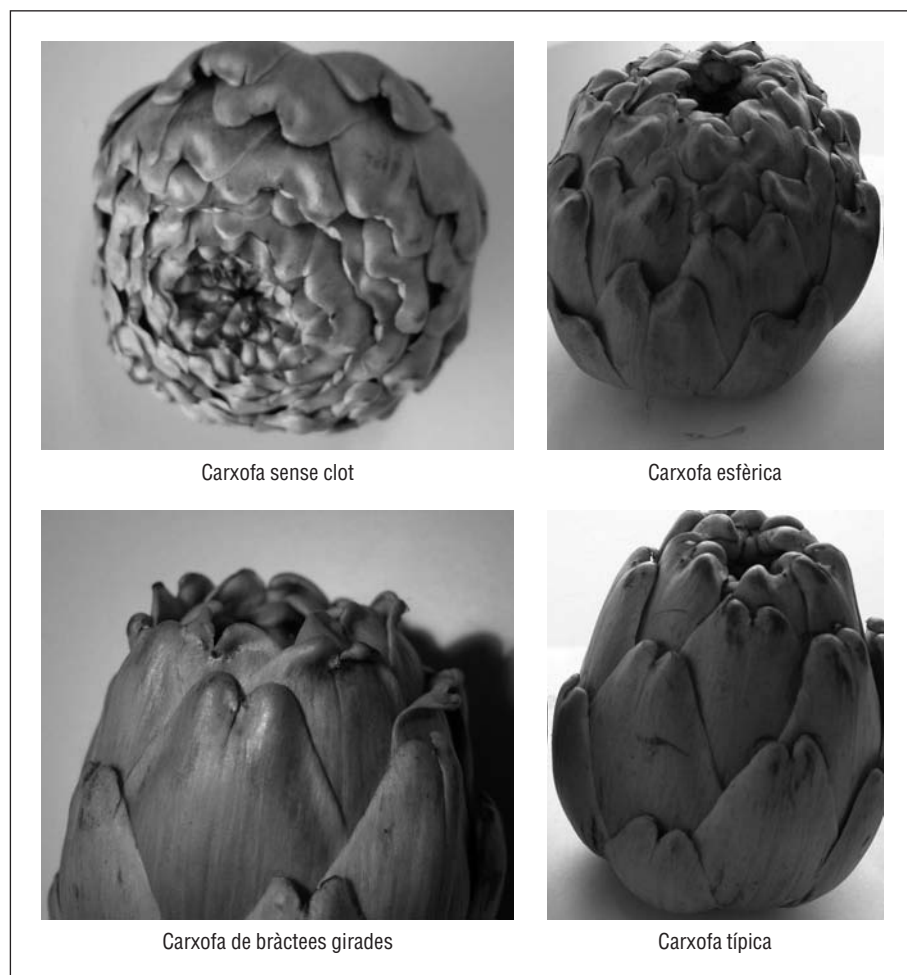
3.2.1. *Formes identificades*

Es van identificar tres variants morfològiques diferenciades que es repeten en diverses plantes d'un mateix camp de selecció: carxofes sense clot, carxofes esfèriques i carxofes amb bràctees girades cap a l'exterior (figura 1).

3.2.2. *Persistència de la forma en la descendència clonada*

L'únic cas en què la descendència s'assemblava mínimament a les mares va ser en el cas del fruit esfèric (taula v). La diferència, però, és molt petita i solament l'ANOVA ens permet dir que són significativament diferents. Per a la resta de clons (fruit sense clot i fruit amb corona de bràctees sobrecreixudes), els fills de les variants contraposades no es diferenciaven i els presumptes mutants no s'assemblaven a les mares respectives més que als testimonis. Podem concloure, doncs, que per a aquests caràcters les diferències que vam trobar en les mares eren fonamentalment d'origen ambiental. No sembla que cap de les variants identificades sigui prou consistent per promoure'n la comercialització separada.

Figura 1. *Les tres morfologies candidates a constituir una marca, juntament amb la forma més comuna de la carxofa blanca de Tudela*



3.3. Efectes genètics i ambientals en els caràcters estudiats

3.3.1. *Comparació d'una població seleccionada amb una població procedent de Tudela*

La població seleccionada va ser molt més primerenca que la de Tudela i va produir menys carxofes (taula vi). Cal dir que, per als caràcters pes mitjà de cada carxofa i nombre mitjà de carxofes collides per dia i carxofera, la significació està al límit ($p \leq 0,05$), i supera la població seleccionada a la de Tudela en el primer caràcter i la de Tudela a la seleccionada en el segon.

TAULA V. Assaig de comparació de clons diferenciats qualitativament en comparació amb els testimonis. Mitjanes per carxofera i clon per als caràcters morfològics comparats (mds $p \leq 0,05$)

Clon	Mitjana del caràcter diferencial
Fruit sense clot	5,50
Testimoni	5,01
mds	1,29
Fruit esfèric	5,50
Testimoni	4,00
mds	0,45
Fruit amb corona de bràctees	0,30
Testimoni	0,10
mds	0,25

La diferència de nombre de carxofes collides per dia i carxofera es pot atribuir al diferent cicle productiu d'ambdues poblacions, ja que la població seleccionada per Bou inicia el període productiu abans que la població Tudela (taula vi) i acaba de produir el mateix dia. Com que la producció total per carxofera no és significativament diferent entre ambdues poblacions (taula vi), podríem pensar que la seva capacitat productiva és similar, però que la producció de la població seleccionada s'inicia abans (és més primerenca) i que després no té una producció tan elevada a la part mitjana del període de producció, amb relació a la població Tudela.

L'existència de diferències entre la població seleccionada per Bou, quaranta dies més primerenca que la població Tudela, ens va fer pensar que, almenys per a alguns caràcters com ara la precocitat, es tractava d'una variabilitat genètica convencional que es podria seleccionar fàcilment (selecció clonal). Això tenia lògica ja que Bou havia estat fent selecció durant uns quinze anys per a diversos caràcters i hauria seleccionat les plantes genèticament més primerenques. Res més lluny de la realitat. En la reproducció clonal convencional per estaqués de les dues poblacions l'any següent (2008) no es van presentar diferències de precocitat (Bou, comunicació personal, 2009). A més, aquest comportament és habitual quan es compara la precocitat de plantes procedents d'estaqués arribades directament de Tudela amb estaqués procedents del Baix Llobregat (Bou, comunicació personal, 2009). Aquest efecte diferencial en la precocitat solament es manifesta en el

TAULA VI. *Mitjanes i intervals de confiança ($p \leq 0,05$) en la comparació de la població Bou i la població Tudela*

Caràcter	Clon Bou		Clon Tudela	
	Mitjana	Interval conf.	Mitjana	Interval conf.
Dies des de la plantació fins a l'inici de la producció	85	75-95	130	117-143
Interval de producció ¹	139		94	
Nre. de carxoferes	660		180	
Nre. de cardets per carxofera	2,84	2,58-3,10	2,94	2,72-3,16
Nre. de fillols per carxofera	5,4	5,00-5,80	5,37	5,05-5,69
Nre. de carxofes	7.158		2.396	
Nre. de carxofes per carxofera	10,85	10,73-10,96	13,31	13,11-13,51
Producció mitjana per dia i carxofera ²	15,60	11,70-19,50	21,12	15,80-26,40
Pes mitjà per carxofa ²	198	162-234	149	134-164
Producció mitjana per carxofera ²	2.018	1.998-2.037	1.977	1.948-2.007
Nre. mitjà de carxofes collides per dia i carxofera	0,09	0,07-0,11	0,14	0,10-0,18

1. Expressat en dies.

2. Expressat en g.

primer any de cultiu. Clarament es tracta, doncs, d'efectes ambientals (o epigenètics) associats a la història més recent de la planta abans de clonar-la. Es coneixen més exemples d'aquest tipus de comportament: les plantes procedents de cultiu de primer any són més primerenques, més productives i més uniformes que quan la planta procedeix de cultiu de segon any (Màcua, comunicació personal, 2010).

Així, doncs, cal tenir molt present que en la reproducció vegetativa mitjançant estaqués de les carxofes hi ha una herència genètica convencional i una segona herència ambiental i/o epigenètica que pot ser molt important el primer any de cultiu. El segon any de cultiu s'atenua o pot ser que s'anul·li.

3.3.2. Comparació dels camps d'origen de les mares respecte del comportament de les plantes clonades i estudiades juntes en el mateix camp

Les plantes més productives quan les assagem en les mateixes condicions ambientals no sembla que es distribueixin aleatòriament entre els camps

d'origen de les mares ja que, per exemple, les plantes seleccionades en el camp 2 tendeixen a tenir descendències més productives que les seleccionades en els altres camps (taula VII). De la mateixa manera, les plantes procedents dels camps 5, 9 i 13 tendeixen a produir menys quan les posem en igualtat de condicions que la resta de mares seleccionades (taula VII). Això ens indicaria que els valors genotípics de les poblacions instal·lades en els diversos camps són diferents i que a més a més de la variabilitat que hi pugui haver dins d'un camp hi ha la variabilitat genètica entre camps.

TAULA VII. *Comparació de mitjanes de les descendències de les plantes seleccionades en els diferents camps, per als caràcters agromorfològics i considerant la mitjana dels dos anys controlats ($mds \leq 0,05$). Producció expressada en g/planta*

Camp	Producció	Nre. plantes	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols
1	2.387	22	4,45	7,23	3,59
2	2.643	350	4,34	8,14	4,14
3	2.286	14	4,07	7,07	3,71
4	2.246	26	4,19	7,08	3,54
5	1.689	8	2,88	5,88	2,38
7	2.209	84	4,31	6,98	3,25
8	2.146	56	3,95	7,23	3,13
9	1.870	18	3,61	6,56	2,22
10	2.132	6	3,83	6,33	3,83
12	2.445	21	4,76	7,81	4
13	1.705	67	3,7	5,36	2,27
mds	404		0,86	1,15	0,78

En una espècie multiplicada per llavors els resultats en aquest sentit són concloents. En canvi, com revelen els altres experiments que presentem, hi ha un munt d'elements, més enllà dels genètics, que influeixen en el comportament de les estakes. La superioritat del material procedent del camp 2 (taula VII) podria ser, doncs, genètica, però també podria estar relacionada amb la sanitat i el vigor de les mares a conseqüència de les condicions del camp, o el maneig del camp pel productor, o si el camp era de primer, segon o tercer any, etc. Tots aquests factors esdevenen molt importants en el cicle comercial de la carxofera.

3.3.3. *Tractament diferencial de les soques després d'arrencar-les del camp mare: comparació d'estaques plantades immediatament després d'arrencar la soca del camp originari, amb estaques plantades després de conservar les soques en cambra freda*

Tots els efectes principals van ser significatius per a tots els caràcters llevat del factor any per al caràcter nombre de sotarefillols (taula VIII). En canvi, només el nombre de cardets i el nombre de refillols van mostrar una interacció tractament $\times$ any significativa (taula VIII).

TAULA VIII. *Resultats de l'anàlisi de la variància en l'assaig de comparació de soques conservades i no conservades. Els valors dins dels requadres corresponen a la probabilitat de significació de l'estadístic F per a cada factor i caràcter*

Factor de variació	Producció	Nre. peces	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols	Nre. sotarefillols
Tractament	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0163
Any	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,1584
Tractament $\times$ any	0,319	0,2018	0,0286	0,1467	0,0273	0,2040

L'aspecte que ens interessava més contrastar amb aquest assaig era la influència del tipus de maneig (especialment l'efecte de conservar les soques abans de plantar-les), que va resultar molt important (taula VIII). De fet, en el conjunt dels dos anys, per a la majoria dels caràcters les soques no conservades van donar desenvolupaments vegetatius i productius que anaven entre un 60 i un 80 % més que el de les soques conservades (taula IX). Aquest és un aspecte molt destacable que ens indica fins a quin punt els efectes ambientals lligats al maneig de les soques abans de la plantació poden condicionar l'activitat productiva de la carxofera.

Si examinem les dades any per any (taula IX) observem que la importància del maneig preplantació es manifesta molt fortament el primer any (115 % més de producció en les no conservades que en les conservades) i després s'amorteix però encara és palès (38 % més de producció).

L'efecte any és consistent, com en l'assaig de selecció per producció, i es manifesta tant en les soques conservades com en les no conservades, i es dona la màxima producció el segon any en ambdós tipus de maneig (taules IX i X).

TAULA IX. Comparació de mitjanes segons el tipus de tractament (soques conservades i no conservades en cambra frigorífica) per als diferents caràcters. La comparació es fa per a les dades conjuntes dels dos anys i per a cada un dels anys (mds $p \leq 0,05$). Producció expressada en g/planta

Tractament	Producció	Nre. peces	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols	Nre. sotarefillols
Anys 1 i 2						
No conservades	2.947	19,7	5,1	8,8	5,0	1,0
Conservades	1.844	13,0	3,0	6,2	3,3	0,5
mds	352	4,1	1,2	1,9	1,4	0,4
Any 1						
No conservades	2.334	15,8	3,1	7,5	4,2	1,0
Conservades	1.087	7,8	1,6	4,2	1,7	0,3
mds	412	2,4	1,5	1,7	1,8	0,3
Any 2						
No conservades	3.560	23,7	7,1	10,2	5,8	1,0
Conservades	2.602	18,2	4,4	8,2	4,8	0,8
mds	328	3,2	1,7	1,5	1,5	0,5

3.3.4. Les components de la variació fenotípica en les poblacions de carxofa: aplicacions pràctiques

L'objectiu dels productors i els seus assessors és elegir el millor germoplasma i acompanyar-lo del maneig que permeti expressar més bé els gens que controlen els caràcters d'interès. En molts cultius (els que es multipliquen per llavor o es clonen *in vitro*), els efectes genètics i ambientals es poden delimitar amb bastant precisió. En el cas de la carxofa, tal com l'hem enfocat nosaltres, és a dir, a partir de les dades d'una sèrie de cultius portats

TAULA X. Comparació d'anys per als diferents caràcters considerant conjuntament els materials conservats i no conservats (mds $p \leq 0,05$). Producció expressada en g/planta

Any	Producció	Nre. peces	Nre. cardets	Nre. fillols	Nre. refillols	Nre. sotarefillols
2	3.057	20,8	5,7	9,1	5,3	0,9
1	1.680	11,6	2,3	5,8	2,9	0,6
mds	254	3,6	1,8	1,6	1,6	0,4

de manera convencional, destriar les diverses components que intervenen en la producció i aparença final del producte que arriba al consumidor no és senzill. En la variabilitat total avaluada hi intervindrien: 1) la component genètica convencional (DNA), 2) la component associada a l'origen i/o estat fisiològic de l'estaca reproductiva (component que seria ambiental i/o epigenètica), 3) la component ambiental convencional que comprèn el tractament fitotècnic del cultiu, i 4) les interaccions entre les tres components principals esmentades.

Malgrat que els experiments desenvolupats no permeten avaluar numèricament la importància de cada una de les components, sí que en tenim, a través dels assaigs realitzats, algunes indicacions. Per exemple, la importància del maneig de les soques és molt elevada. Això fa del tot recomanable seguir la traçabilitat de les soques que es clonaran per assegurar-nos que no tenen fora tipus (el control que es fa a Tudela no va més enllà i seria recomanable que fos més estricte), que no tenen patologies, i que no ha passat gaire temps entre el moment de ser arrencades i el moment en què les clonarem i en plantarem les estaques.

4. CONCLUSIONS

4.1. Sobre la selecció per a producció

La producció de les plantes es pot estimar comptant el nombre de carxofes produïdes, ja que el coeficient de determinació de la regressió aconseguida entre aquestes dues series de valors és proper al 0,9. Com que les correlacions fenotípiques i genotípiques entre caràcters productius són similars en valor i signe, la utilització de les regressions per estimar la producció sembla que ens porta a bones aproximacions.

Les característiques agromorfològiques de les plantes el primer any són molt independents de les del segon any. Probablement, aquesta manca de correspondència es deu al fet del que podríem anomenar *efecte fundador*, que recull un munt d'efectes lligats a la història de cada estaca individual (camp d'on procedeix, dimensions de la planta mare, estat de sanitat de l'estaca, temps transcorregut entre la recollida de la planta mare al camp i la clonació i trasplantament, tractament de les estaques abans de plantar, etc.). Si les plantes d'un camp de selecció no provenen d'estaques amb maneig idèntic, sembla del tot convenient avaluar les plantes el segon any quan les diferències lligades amb la història de cada estaca ja s'han amortit.

S'han identificat i clonat plantes superiors per a producció. Malgrat que les produccions més altes estan associades a diverses arquitectures de la planta que maximitzen el nombre de carxofes produïdes (pocs cardets i

molts fillols per cardet o molts cardets amb pocs fillols per cardet), es valora millor l'estratègia de pocs cardets avalada pels productors en l'ideotip que van dibuixar inicialment.

4.2. Sobre la selecció per carxofes de morfologia diferent

En els camps de selecció es van identificar tres variants morfològiques aparentment ben diferenciades de l'estàndard blanca de Tudela. Solament la carxofa de morfologia esfèrica va passar a la descendència de manera significativa el caràcter, cosa no suficient (només passa de manera quantitativa però no qualitativa) per constituir, per si sola, una «marca».

4.3. Sobre els efectes genètics i ambientals

La influència ambiental és qualitativament més important que la genètica en les diferències fenotípiques o totals. L'avaluació quantitativa de la component genètica es complica perquè en multiplicar-se per clonació pot ser que diferències maternes no genètiques es transmetin durant el procés de clonació (malalties, vigor, nombre de borrons, dimensions de la soca, origen de la soca i, en general, estat fisiològic de la soca). Només treballs més precisos en hivernacle i multiplicació mitjançant cultiu de meristemes ens podrien ajudar a valorar quina d'aquesta part presumptament heretable ho és per efectes no genètics i quina per efectes genètics.

4.4. Sobre el disseny de programes de millora

Actualment al Baix Llobregat, per augmentar les produccions, es pot avançar molt més ràpidament fent millora ambiental més que millora genètica, que necessita molta més inversió a causa de la peculiaritat de la transmissió epigenètica en multiplicar-se la carxofa per clons. Aquesta millora ambiental hauria d'optimitzar el maneig del cultiu des de les soques mares abans d'arrencar-les fins a les carxofes quan es cullen per dur-les al mercat. La utilització d'estaques sanes plantades en camps sotmesos a una rotació de sis anys pensem que podria oferir resultats immediats.

Només quan tinguem protocols estrictes que afectin tots els procediments del cultiu, té sentit iniciar programes de millora genètica per identificar i multiplicar clons superiors per als diversos caràcters que ens interessen. Tant de bo, d'aquí trenta anys no calgui escriure una altra vegada que la situació segueix essent la mateixa que la dels anys vuitanta.

5. AGRAÏMENTS

A tots els productors que ens han deixat treballar en els seus camps per elegir plantes i poder-les multiplicar i especialment al senyor Albert Bou per les múltiples informacions que ens ha donat sobre el cultiu de la carxofa.

Al Consorci del Parc Agrari del Baix Llobregat i als dirigents del Parc, que, en patrocinar i donar suport a aquest estudi, han permès avançar una mica en la identificació dels punts crítics en l'elecció i maneig de les carxofes.

BIBLIOGRAFIA

- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, ALIMENTACIÓ I ACCIÓ RURAL DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA [en línia] (2010). <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR?newLang=es_ES>.
- ESPELTA, J. M.; FÀBREGUES, C.; ISART, J.; MURRULL, A.; NADAL, M.; ROS, M. A.; SALLERAS, J. M. (1983). *Carxofa: conreu, plagues i malalties*. Jornada de la Carxofa (10 desembre 1983). Institució Catalana d'Estudis Agraris.
- FAO. [en línia] (2010). <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>.
- GARCÍA, S. M.; FIRPO, I. T.; COINTRY, E. L.; LÓPEZ ANIDO, F. S.; CRAVERO, V. P. (2005). «Effects of Different Agronomic Practices on Artichoke Production». A: BIANCO, V. V.; CALABRESE, N.; RUBATZKY, V. (ed.). *Proceedings of the IV International Congress on Artichoke*. Valenzano (Bari): ISHS Section Vegetables, p. 83-88.
- LÓPEZ ANIDO, F. S.; COINTRY, E. L.; CRAVERO, V. P. (2005). «New Argentinian Clones of Artichoke». A: BIANCO, V. V.; CALABRESE, N.; RUBATZKY, V. (ed.). *Proceedings of the IV International Congress on Artichoke*. Valenzano (Bari): ISHS Section Vegetables, p. 329-332.
- MAURO, R.; IERNA, A.; PORTIS, E.; LANTERI, S.; MAUROMICALE, G. (2007). «Morphological and Molecular Characterization of Autochthonous Sicilian Globe Artichokes Grown in Family Gardens. A: FERNÁNDEZ, J. A. [et al.] (ed.). *Proceedings of the VI International Congress on Artichoke*. Llorca: ISHS Section Vegetables, p. 113-121.
- MINISTERI DE MEDI AMBIENT RURAL I MARÍ D'ESPANYA [en línia] (2010). <<http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>>.
- NISINI, P. (2007). «Recovery and Characterization of Italian Artichoke Traditional Landraces of "Romanesco" Type». A: FERNÁNDEZ, J. A. [et al.] (ed.). *Proceedings of the VI International Congress on Artichoke*. Llorca: ISHS Section Vegetables, p. 101-106.
- PAPALINI, P.; ERCOLANI, R.; ZUCCHERELLI, G. (2005). «Exploter, a new variety of artichoke with high genetic innovation». A: BIANCO, V. V.; CALABRESE, N.; RUBATZKY, V. (ed.). *Proceedings of the IV International Congress on Artichoke*. Valenzano (Bari): ISHS Section Vegetables, p. 347-350.

- PISANU, A. B. (2005). «Yield and Biometric Characteristics of 9 Clones Selected from the Population of “Spinoso sardo” Artichokes». A: SANZ, F. J. (ed.). *Proceedings of the Fifth International Congress on Artichoke*. Tudela: ISHS Section Vegetables, p. 83-89.
- SAS INSTITUTE INC. (1999). *SAS/STAT® User's Guide, Version 8*, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- ZUCCHERELLI, G.; CAPACCIO, V.; PAPALINI, P. (2005). «Apollo, a new attractive medium - early artichoke cultivar». A: BIANCO, V. V.; CALABRESE, N.; RUBATZKY, V. (ed.). *Proceedings of the IV International Congress on Artichoke*. Valenzano (Bari): ISHS Section Vegetables, p. 351-354.