

ANÀLISI DEL TRACTAMENT D'ASSECAT UTILITZAT EN L'OBTENCIÓ D'ORELLANES SOBRE ELS FITOQUÍMICS DE L'ALBERCOC

Aina Benavent Giménez; Marta Igual Ramo¹; Eva García Martínez¹; Eugenia Martín Esparza².

RESUM

L'objectiu d'aquest treball ha sigut l'avaluació de l'efecte de l'aplicació de microones i un pretractament amb metabisulfit sòdic sobre la cinètica d'assecat i sobre alguns composts bioactius presents en l'albercoc, així com sobre les propietats mecàniques i el color. Les corbes d'assecat obtingudes s'han descrit adequadament mitjançant relacions semiempíriques. L'aplicació de microones, combinada o no amb assecat convectiu, va suposar una reducció del 83% del temps de procés, un menor descens del contingut d'àcid ascòrbic, carotenoides i de l'activitat antioxidant, i un major augment dels fenols totals. El pretractament amb metabisulfit de sodi no va afectar o va augmentar la quantitat dels composts bioactius analitzats. D'altra banda, l'aplicació de microones i el pretractament amb metabisulfit sòdic pareixen permetre obtenir productes d'estructura més gomosa, característica de l'orellana d'albercoc, i un color més pròxim al de la fruita fresca. Per tant, l'ús d'energia microones combinada amb aire calent, després del pretractament amb metabisulfit sòdic, pot suposar una millora del procés industrial d'obtenció d'orellanes quant a la reducció del temps d'assecat i a l'obtenció d'orellanes amb un major contingut de composts bioactius, i millors propietats mecàniques i color.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación del efecto de la aplicación de microondas y un pretratamiento con metabisulfito sódico sobre la cinética de secado y sobre algunos compuestos bioactivos presentes en el albaricoque, así como sobre las propiedades mecánicas y el color. Las curvas de secado obtenidas se han descrito adecuadamente mediante relaciones semiempíricas. La aplicación de microondas, combinada o no con secado convectivo, supuso una reducción del 83% del tiempo de proceso, un menor descenso del contenido de ácido ascórbico, carotenoides y de la actividad antioxidante, y un mayor aumento de los fenoles totales. El pretratamiento con metabisulfito de sodio no afectó o aumentó la cantidad de los compuestos bioactivos analizados. Por otra parte, la aplicación de

¹ Grup d' Investigació i Innovació Alimentaria (CUINA). Departament de Tecnologia d'Aliments. Universitat Politècnica de València. Camí Vera s/n 46022 València.

² Institut Universitari d'Enginyeria dels Aliments per al Desenvolupament (IIAD). Universitat Politècnica de València. Camí Vera s/n 46022 València.

microondas y el pretratamiento con metabisulfito sódico parecen permitir obtener productos de estructura más gomosa, característica del orejón de albaricoque, y un color más próximo al de la fruta fresca. Por tanto, el uso de energía microondas combinada con aire caliente, tras el pretratamiento con metabisulfito sódico, puede suponer una mejora del proceso industrial de obtención de orejones en cuanto a la reducción del tiempo de secado y a la obtención de orejones con un mayor contenido de compuestos bioactivos, y mejores propiedades mecánicas y color.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of process conditions for obtaining dried apricots on the drying kinetics and on several bioactive compounds present in the apricot, as well as on the mechanical and optical properties of the fruit. Semiempirical relations were used to adequately reproduce the experimental drying curves. It was possible to observe that the application of microwaves combined or not with convective drying, implied a reduction of about 83% on the process time, a lower decrease on the ascorbic acid content, on the carotenoids content and on the antioxidant activity, and a higher increase on the total phenols. Sodium metabisulphite pretreatment did not affect or increased the amount on the assessed bioactive compounds. On the other hand, microwave application to convective drying of pretreated apricots allowed to obtain a product with a more rubbery structure, typical of dried apricots, and with a more preserved color. Therefore, industrial processing of pretreated apricots may be improved by combining microwave energy and convective drying, as drying time is considerably reduced and the obtained dried fruit shows a higher content on bioactive compounds and better mechanical and optical properties.

PARAULES CLAU: Orellana d'albercoc, microones, cinètica d'assecat, compostos bioactius, color, propietats mecàniques.

INTRODUCCIÓ

L'albercoc és una fruita climatèrica molt perible que en condicions ambientals té una vida útil de 4 o 5 dies (Sharma et al., 1992). Per aquest motiu, l'albercoc és una fruita que ha necessitat ser processada per tal d'allargar la seva vida útil. Es considera que entre el 40 i 50% de la producció mundial d'albercocs és processada (Crivelli, 1997) essent l'assecat una de les tecnologies més utilitzades (Bolin i Jackson, 1985).

Fins fa poc més d'un segle, el mètode de secat més utilitzat havia sigut l'ús de la radiació solar. No obstant, els avantatges de la dessecació per efecte de les radiacions solars i de l'aire, són superades pels inconvenients derivats de la presència de pols atmosfèrica i pel insectes que transmeten gèrmens patògens. Així, la deshidratació mecànica amb aire calent ha guanyat importància perquè presenta molts avantatges respecte al secat solar (Barbosa-Cánovas i Vega-Mercado, 1996; Piga et al., 2004). Però en aquest sistema també trobem l'inconvenient de la pèrdua de qualitat ocasionada en els aliments per les condicions de secat (Chou i Chua, 2001). Els danys causats estan directament relacionats amb les elevades temperatures i els llargs temps de secat que són necessaris per a dur a terme la dessecació (Lin et al., 1999). Això comporta que cause sovint danys i efectes negatius sobre la textura, color, sabor i valor nutritiu dels aliments (Mohr, 1994; Zanoni et al., 1999). Tots aquests desavantatges han fet patent la necessitat d'implantar noves tècniques de deshidratació d'aliments, com la utilització d'energia microones (Gowen et al., 2006).

L'aplicació de les microones al secat d'aliments ha rebut una àmplia atenció en els últims anys (Alibas et al., 2005; Contreras et al., 2007). És una tècnica que permet una ràpida deshidratació i que pot ser aplicada a diferents aliments, particularment a fruites i verdures (Zhang et al., 2006). No obstant, el secat amb energia microones sols presenta desavantatges respecte al secat per microones associat a altres mètodes (Zhang et al., 2006). Aquestes són l'escalfament desigual, els possibles danys en la textura del producte i la penetració limitada de les radiacions microones en l'aliment. És per això que per a superar aquests inconvenients, així com els procedents del secat convectiu, cadascun per separat, s'ha proposat combinar les microones amb el secat per aire calent (Feng et al., 1999; Gowen et al., 2006).

La qualitat dels productes deshidratats depèn en gran mesura del mètode de deshidratació utilitzat. Per a obtenir un producte deshidratat de qualitat, el procés de secat ha de permetre una bona retenció del color, textura, sabor i valor nutritiu en comparació amb el producte fresc (Kanawade i Narain, 1993) i tots aquests paràmetres de qualitat han de ser ben conservats per aconseguir que s'assemblen al màxim al producte fresc, i d'aquesta manera maximitzar l'acceptabilitat del producte deshidratat (Gowen et al., 2006). Per a les orellanes d'albercoc, la millor qualitat s'associa a un aspecte translúcid i una textura gomosa (Abdelhaq i Labuza, 1987).

Per tal de reduir durant el processat la degradació del producte, facilitar el procés de secat i millorar la qualitat del producte secat, s'han proposat diferents pretractaments, un dels quals és el sulfitat. En particular, en el cas

dels albercocs deshidratats, li confereix un major atractiu per al consumidor, en preservar el color i la textura, així com el sabor característic del producte (Roselló et al., 1993). No obstant, hi ha un increment en la demanda d'albercocs lliures de sofre a causa de les al·lèrgies que produeix en persones al·lèrgiques a les elevades concentracions de sulfits (Madrau et al., 2009).

Els fitoquímics es poden definir com els productes orgànics constituents dels aliments d'origen vegetal que no són nutrients i que poden proporcionar a l'aliment certes propietats fisiològiques, que van més enllà de les nutritives pròpiament dites (Bonafine et al., 2006). Gràcies a la presència d'aquests compostos bioactius són moltes les propietats que s'atribueixen als albercocs entre les quals es poden destacar la protecció de la vista, la prevenció de problemes cardíacs i del càncer de pròstata, a més de combatre l'anèmia (Jian et al., 2007). L'albercoc pot ser considerat com una bona font d'aquests fitoquímics, principalment polifenols (Arts et al., 2000; Dragovic-Uzelac et al., 2005a; Dragovic-Uzelac et al., 2005b; Ruiz et al., 2005; Dragovic-Uzelac et al., 2007) i carotenoides (Fraser et al., 2004; Sass-Kiss et al., 2005; Dragovic-Uzelac et al., 2007). A més a més, encara que amb menor quantitat també és una font de vitamines, com la vitamina A, C i E (Kamisli i Karatas, 2009).

Els polifenols es poden dividir en quatre grans grups: àcids fenòlics, lignines, tanins i flavonoides, que a la vegada, es divideixen en diferents subgrups com: flavones, isoflavones i antocians, entre d'altres. Els compostos fenòlics actuen com a antioxidants, anticancerígens, antimicrobians, antimutagènics i antiinflamatoris, a més a més, redueixen les malalties cardiovasculars (Kim et al., 2003).

Els carotenoides s'associen amb una acció antioxidant. L'albercoc està considerat com una bona font de carotenoides, especialment β -caroté, que representa més del 50% del contingut total de carotenoides i es considera precursor de la vitamina A (Ruiz et al., 2005; Sass-Kis et al., 2005). Els β -carotens presents en aquesta fruita s'han relacionat amb una disminució del risc de patir càncer de pulmó (Machlin i Bendich, 1987).

Les vitamines són compostos orgànics essencials per a certes reaccions metabòliques específiques que no les poden sintetitzar les cèl·lules de l'organisme humà a partir de metabòlits simples. Moltes actuen com a coenzims o parts d'enzims i s'encarreguen de promoure reaccions químiques essencials. A més a més, les vitamines A, E i C tenen un paper antioxidant front al dany oxidatiu (Stryer, 1995). Aquestes tres vitamines són alguns dels principals antioxidants no enzimàtics en el cos i es considera que tenen un efecte protector contra el càncer de pulmó, bufeta i pròstata (Guemouri et al., 1991; Halliwell, 1994).

L'activitat antioxidant de fruites i hortalisses és de gran importància en la lluita contra una sèrie de malalties degeneratives com el càncer, artritis, arteriosclerosi, malalties coronàries, inflamacions, disfunció cerebral i l'acceleració del procés d'envelliment (Feskanich et al., 2000; Di Matteo i Esposito, 2003). Segons Scalzo et al. (2005) l'albercoc es troba en el vint-i-quatrè lloc en quant a capacitat antioxidant d'un total de trenta-vuit fruites, mentre que per a Pellegrini et al. (2003) es troba al dinovè, vint-i-tresè o vint-

i-quatrè lloc d'un total de trenta fruites, depenent del mètode seleccionat per a la determinació.

L'objectiu d'aquest treball ha sigut avaluar l'efecte de la deshidratació per aire calent (SAC), per microones (MW) i per combinació d'aire calent i microones (SAC + MW) sobre la cinètica d'assecat, el color, les propietats mecàniques i els diferents fitoquímics, en concret vitamines A, E i C (àcid ascòrbic), fenols totals, carotenoides i activitat antioxidant. També ha sigut objectiu avaluar l'efecte del tractament amb metabisulfit de sodi sobre els mateixos fitoquímics, el color i les propietats mecàniques.

MATERIALS I MÈTODES

Matèria primera

S'utilitzaren albercocs (*Prunus armeniaca* L.) de la varietat Roig de Carlet procedents d'una mateixa parcel·la. Foren recol·lectats tots el mateix dia i seleccionats amb la finalitat d'unificar característiques en quant a fermesa, mesura, aspecte i estat de maduresa.

Tractaments

Els albercocs foren pelats, es partiren en meitats i el pinyol s'eliminà. A la meitat dels albercocs se'ls va realitzar el tractament de sulfitat previ a la deshidratació i amb eixa finalitat es submergiren les meitats en una dissolució d'aigua amb una concentració de metabisulfit sòdic de grau alimentari d'1,5 g/ L durant 1 hora.

Tant les mostres pretractades com no pretractades s'assecaren fins a una humitat del 25% (humitat comercial de les orellanes d'albercoc) mitjançant quatre condicions d'assecat diferents: secat per aire calent a 40°C (SAC 40) i a 60°C (SAC 60), secat combinat d'aire calent a 40°C i microones a 100W (SAC + MW) i secat amb microones a 100W (MW).

Els tractaments SAC 40, SAC + MW i MW es varen dur a terme amb un forn microones model Moulinex, 5141 AFW2. En els casos en els que es va aplicar aire el sentit de circulació de l'aire era circular i ascendent.

Al tractament SAC+MW l'assecat es produïa per combinació d'aire calent a 40°C i microones a 100W fins a arribar a una humitat propera al 30%. Per acabar el secat, es va utilitzar aire calent a 40°C únicament (a les proves preliminars s'observà que l'aplicació del secat combinat durant tot l'assecat provocava excessius canvis en el color).

Finalment, el tractament SAC 60 es va dur a terme amb un assecador de safates perforades BACK TO BASICS FD-600 on l'aire circulava en sentit ascendent i perpendicular a les mostres situades sobre les safates perforades a una temperatura de 60°C.

Anàlisis realitzades

Totes les anàlisis es dugueren a terme en mostra fresca i en la mostra deshidratada pels diferents mètodes, amb i sense pretractament amb metabisulfat de sodi.

En el cas de la determinació dels diferents fitoquímics, prèviament a la realització de les anàlisis de les mostres processades, aquestes foren rehidratades amb aigua durant 24 hores.

Per a determinar la **humitat** de l'albercoc fresc es va seguir el mètode 20.013 (AOAC, 1980) per a fruites riques en sucre. Aquest mètode consisteix en determinar la pèrdua de pes que experimenta una mostra, col·locant-la en una estufa a 63°C durant 24 hores i posteriorment en una estufa al buit a 63°C fins assolir el pes constant. La humitat de les orellanes d'albercoc obtingudes es va calcular mitjançant un balanç de matèria coneixent la humitat inicial de l'albercoc i la pèrdua de pes patida per aquests durant el procés d'assecat.

La determinació de **sòlids solubles** es va dur a terme utilitzant un refractòmetre "Abbe Atago model NAR-3T" de Zeiss termostatat a 20°C.

Per a la determinació de sòlids solubles en l'albercoc fresc es va extraure la fracció líquida i es va mesurar directament. Per altra banda, per a poder determinar la quantitat de sòlids solubles de les orellanes, es va pesar i mesclar una quantitat coneguda d'albercoc sec i d'aigua. A continuació es va fer un homogeneïtzat i es van mesurar els sòlids solubles. Per a conèixer la quantitat exacta de sòlids solubles es va utilitzar la següent expressió matemàtica (Equació 1):

$$X_s = \frac{(M_o \cdot x_{w0} + M_w) \cdot \text{Brix}_{\text{mesurats}}}{(100 - \text{Brix}_{\text{mesurats}}) \cdot M_o} \quad (1)$$

Sent: M_o = massa d'albercoc sec utilitzada a l'anàlisi (g); M_w = massa d'aigua afegida (g); x_{w0} = humitat de l'albercoc sec (g aigua/ g mostra)

El **pH** es va determinar utilitzant un pH-metre "consort C839" amb electrode de contacte METTLER TOLEDO model electrolyte 9823. Prèviament a les mesures, l'equip fou calibrat amb dissolucions tampó de pH 4,00 i 7,00.

Les determinacions de l'**activitat de l'aigua** (a_w) es realitzaren amb un higròmetre GBX FA-st amb una sensibilitat 0,003. Aquest es va calibrar amb una dissolució saturada de sulfat potàssic (K_2SO_4 $a_w=0,972$).

Les **propietats mecàniques** de les orellanes d'albercoc obtinguts amb els diferents tractaments d'assecat assajats foren analitzats a 25°C mitjançant assajos de punció, utilitzant un Analitzador Universal de Textura TA.XT2, Stable Micro Systems). L'assaig es va realitzar amb un punxó cilíndric de 2 mm de diàmetre, a velocitat constant de penetració de 1,5 mm/s fins la total penetració de la mostra. Les determinacions foren realitzades per triplicat sobre cinc mostres diferents per a cada tractament d'assecat (15 repeticions per tractament).

La mesura del **color** de les orelles d'albercoc obtinguts als diferents tractaments d'assecat assajats fou realitzada utilitzant un espectrecolòrimetre (MINOLTA, CM 3600D, Tokio, Japó), utilitzant com a referència l'observador 10° i il·luminant D65. El color fou mesurat en 5 mostres diferents en dos zones diferents de cada mostra (10 repeticions per tractament). A partir de l'espectre de reflexió es varen obtenir les coordenades de color CIEL*a*b*, corresponents a la claredat o lluminositat, L*, i les coordenades cromàtiques, a* i b*, on a* representa la quantitat de roig (+) / verd (-), i b* a quantitat de groc (+) / blau (-). A partir dels valors de L*, a* y b*, es calcularen (equacions 2 i 3) les magnituds cromàtiques cromàtica, C*_{ab}, que indica la intensitat o saturació del color i to, h*_{ab}, on 0°= roig-púrpura; 90°= groc; 180°= blavós-verd; i 270°= blau (Holcroft i Kader, 1999). També es va determinar la diferència de color respecte a l'albercoc fresc mitjançant l'equació 4.

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (4)$$

L'**àcid ascòrbic** (AA) fou determinat per Cromatografia Líquida l'Alta Resolució (HPLC), segons metodologia descrita per Xu et al. (2008). Es va utilitzar un equip HPLC marca "Jasco" amb una bomba ternària (Jasco PU-1580 HPLC pump), un generador de gradient (LG-1580-02 Ternary Gradient Unit) i un detector UV-visible (MD-1510) amb un rang de mesura de longitud d'ona de 190 fins a 650 nm. Per a dur a terme l'anàlisi de les mostres es va utilitzar una columna Zorbax SB-C18 de 5 µm (4,6 x 25 mm), junt amb una precolumna (C18 Teknokroma).

La determinació de les **vitamines A i E** es va realitzar amb l'adaptació de la metodologia seguida per Munzuroglu et al. (2003). Es va mesurar l'absorbància a 326 i 296 nm per a la vitamina A i E respectivament, mitjançant la tècnica d'HPLC utilitzant l'equip i la columna citats anteriorment.

La determinació dels **carotenoides** es va realitzar seguint la metodologia proposada per Olivas et al. (2006). Es va mesurar l'absorbància a 446 nm en un espectrofotòmetre UV-visible (Termos Electrò Corporation).

La determinació dels **fenols totals** presents als albercocs es va dur a terme utilitzant l'assaig Folin-Ciocalteu segons Benzie i Strain (1999) i adaptat per Selvendran et al. (1990). Per a l'extracció dels fenols totals es va seguir la metodologia descrita per Tomás-Barberán et al. (2001). Es va mesurar l'absorbància a 765 nm amb un espectrofotòmetre UV-visible (Termo Electron Corporation). Els resultats es varen expressar en mg d'àcid gàl·lic (GAL) en 100 g de mostra.

L'**activitat antioxidant** total dels albercocs es va mesurar usant el mètode del DPPH (Punpponen et al., 2000) basat en la capacitat dels antioxidants per a captar radicals lliures. El protocol seguit en aquest cas fou

proposat per Sánchez-Moreno et al. (1998). Es va mesurar l'absorbància a 515 nm en un espectrofotòmetre UV-visible (Termos Electrò Corporation) a intervals de 0,15 minuts fins que la reacció es va estabilitzar. Els resultats es van expressar en % DPPH segons l'equació 5:

$$\%DPPH = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{mostra}}}{A_{\text{control}}} \cdot 100 \quad (5)$$

On: A_{control} = absorbància de control (temps 0); A_{mostra} = absorbància de la mostra quan la reacció s'ha estabilitzat

L'anàlisi estadística dels resultats es va dur a terme mitjançant el programa Statgraphics plus versió 5.1 (Statgraphics, 2000), realitzant l'anàlisi de la variància (ANOVA), amb el nivell de significança del 95% ($p < 0.05$), per a avaluar les diferències entre tractaments.

A més, es realitzaren anàlisis de correlació de Pearson entre l'activitat antioxidant i els compostos funcionals estudiats amb un nivell de significança del 95%.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Efecte de les condicions d'assecat en la velocitat del procés

Un factor molt important en l'avaluació del procés de deshidratació és el temps necessari per aconseguir els nivells d'humitat requerits. En aquest sentit és ben conegut que una major temperatura de l'aire però també l'aplicació d'energia microones permet una significativa reducció en el temps d'assecat (Lin et al., 1999; Maskan, 2000; Fito et al., 2001; Maskan, 2001; Piotrowski et al., 2004; Contreras et al., 2008). En el cas dels tractaments aplicats en aquest estudi, l'aplicació de microones a l'assecat convectiu o l'ús únic de microones va suposar un descens en el temps d'assecat necessari per arribar a una humitat final en el producte del 25% del 83% respecte a l'assecat convectiu (Taula 1). La temperatura de l'aire va mostrar una menor influència en el temps d'assecat.

Taula 1. Valors mitjans del temps de procés (t_i) requerit pels diferents tractaments assajats per aconseguir una humitat final del 25%

Tractament d'assecat	x_{wo} (g aigua/g totals)	x_{wf} (g aigua/g totals)	t_i (h)
SAC 40	0,86 (0,04)	0.2479 (0.0011)	12,92 (0,47) ^c
SAC 60	0,86 (0,04)	0.2485 (0.0015)	10,83(0,94) ^b
SAC + MW	0,86 (0,04)	0.2473 (0.0017)	2,17(0,02) ^a
MW	0,86 (0,04)	0.2475 (0.0033)	2,08(0,12) ^a

Valor entre parèntesi: desviació estàndard

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa columna van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

A partir de les dades experimentals corresponents a la pèrdua de pes patida per les mostres durant els distints tractaments d'assecat assajats, i tenint en compte la humitat inicial del producte (0,86 (0,04) g aigua/g totals),

es van determinar els valors d'humitat de les mostres (x_w , g aigua/g totals) al llarg del procés mitjançant un balanç de matèria (aigua). Aquests resultats es varen representar a la Figura 1, on es mostren: (a) les corbes d'assecat reduïdes ($X_{w\text{mitjana}}/X_{w0}$ versus t) obtingudes per als diferents tractaments, sent X_{w0} la humitat inicial del producte i la $X_{w\text{mitjana}}$ la humitat puntual mitjana en cada temps de control i, expressades en base seca (b) les corbes de velocitat d'assecat obtingudes per als tractaments de deshidratació d'albercoc assajats, on és possible identificar els diferents períodes d'assecat que apareixen en cada cas després d'un breu període d'inducció. Les velocitats d'assecat s'obtingueren tenint en compte les variacions d'humitat (ΔX_w) observades entre els temps de control consecutius (Δt).

Els tractaments per assecat amb aire calent tenen lloc a velocitat d'assecat decreixent, la qual cosa indica que la transferència de matèria està governada per les característiques intrínseques del producte i la resistència que aquest ofereix a la difusió interna d'aigua cap a la superfície en contacte amb el corrent gasós, on és finalment evaporada.

Quan s'observen les corbes de velocitat d'assecat corresponents als tractaments d'assecat per microones, és possible apreciar com pràcticament tot el procés té lloc a velocitat constant. El comportament lineal de la velocitat d'assecat observat està associat a una velocitat d'evaporació superficial d'aigua del mateix orde de magnitud que la velocitat amb què l'aigua es difon des de l'interior del producte cap a la superfície. La generació interna de calor relacionada amb l'aplicació de microones suposa un escalfament intern més ràpid, que de vegades pot comportar el canvi d'estat de l'aigua líquida a vapor en l'interior del producte (Maskan i Ibanoglu, 1998; Contreras et al., 2008). Apareix llavors un gradient de pressions parcials de vapor entre la superfície i l'interior de l'aliment que actua de força impulsora addicional a la difusió d'aigua cap a la superfície, i és aquesta força addicional la que permetria igualar la velocitat de difusió d'aigua a la seua velocitat d'evaporació superficial, la qual cosa no pareix aconseguir-se en els tractaments d'assecat per aire calent. A més, la ruptura cel·lular provocada per la major solubilització pèctica observada en aplicar microones a l'assecat de fruites (Contreras et al., 2005, 2008) dona lloc a una menor rigidesa del teixit i per tant a una menor resistència al transport d'aigua, augmentant així la velocitat d'assecat.

Finalment, en els tractaments combinats apareixen dos períodes d'assecat diferents, primer la velocitat d'assecat és constant i després l'assecat evoluciona amb velocitat decreixent. Aquest comportament reflexa el paper rellevant de les microones en el primer període i un comportament similar al de l'assecat convectiu en el segon període. El canvi d'un període a un altre defineix en tots els casos un nivell d'humitat crític (X_{wc}), que s'aconsegueix a un determinat temps crític (t_c).

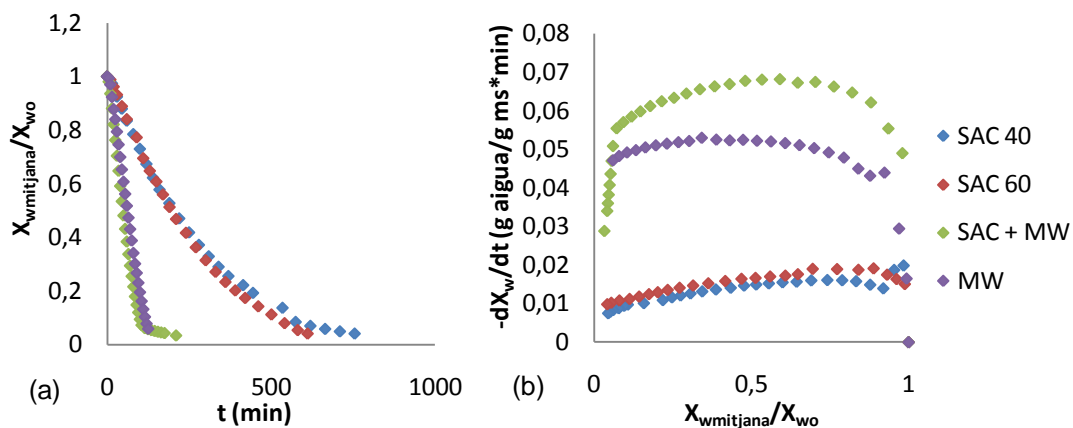


Figura 1. Corbes d'assecat (a) i de velocitat d'assecat (b) d'albercoc obtingudes en els diferents assajos de deshidratació emprats per a l'obtenció d'orellanes d'albercoc.

Les corbes d'assecat han sigut modelitzats tenint en compte el diferent comportament observat en la pendent de les corbes de velocitat d'assecat obtingudes per als diferents tractaments assajats (constant o decreixent). El període d'inducció s'ha considerat menyspreable a la vista de la rapidesa amb què finalitza l'esmentat període. Al període de velocitat d'assecat constant (assecat per microones i primer període d'assecat combinat aire calent-microones) l'equació 6 permet reproduir l'evolució de la humitat del producte durant l'assecat. La Taula 2 resumeix els valors mitjans del paràmetre a , obtinguts per als tractaments assajats.

$$X_w = X_{wo} - a * t \quad (6)$$

Per a la modelització del període de velocitat d'assecat decreixent (assecat per aire calent i segon període d'assecat combinat aire calent-microones) s'ha emprat el model de Page, un model difusional de tipus exponencial amb dos paràmetres, K i N . (Equació 7). Aquest model introdueix un segon paràmetre d'assecat N en el model exponencial, que suposa una modificació empírica en el terme del temps (Karathanos i Belessiotis, 1999; Simal et al., 2005), millorant així els resultats de predicció de la pèrdua de la humitat (Azzouz et al., 2002). Com que s'espera que els valors de la humitat d'equilibri (X_{we}) del producte siguin molt menors que els de X_w o X_{wo} , es va considerar menyspreable el seu valor.

$$\frac{(X_w - X_{we})}{(X_{wo} - X_{we})} = \exp(-K * t^N) \quad (7)$$

Atès que en l'assecat combinat aire calent-microones, el període decreixent té lloc una vegada aconseguit un nivell d'humitat (humitat crítica, X_{wc}) en un determinat temps de procés (temps crític, t_c). L'ajust del model de Page s'ha de realitzar emprant l'equació 8.

$$\frac{(X_w - X_{we})}{(X_{wc} - X_{we})} = \exp(-K * (t - t_c)^N) \quad (8)$$

Les constants cinètiques van ser determinades mitjançant una regressió no lineal (Statgraphics 5.1 (Statgraphics, 2000)). La Taula 2 arreplega els valors mitjans obtinguts junt amb la humitat i el temps crítics, per a cada tractament assajat.

Taula 2. Valors mitjans (desviació estàndard) dels paràmetres de l'ajust lineal (a), model de Page (K, N), humitat crítica (X_{wc}) i temps crític (t_c), junt amb el coeficient de regressió (R^2) i l'error estàndard (SE) estimat per a cada tractament d'assecat.

	Tractament d'assecat			
	SAC 40	SAC 60	SAC + MW	MW
a	-	-	0,061 (0,005) ^a	0,053 (0,004) ^a
K (min⁻¹)	0,003 (0,002) ^b	0,0031 (0,0006) ^b	0,14 (0,02) ^a	-
N	1,072 (0,112) ^a	1,04 (0,05) ^a	0,54 (0,09) ^b	-
X_{wc} (g aigua/g ms)	-	-	1,1303 (0,1114)	-
t_c (min)	-	-	88 (11)	-
SE⁽¹⁾	0,0160 (0,0104)	0,04 (0,02)	0,016 (0,003)	0,05 (0,03)
R²	0,998	0,988	0,951/0,994 ⁽²⁾	0,981

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa fila van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

$$(1) SE = \frac{\sqrt{\sum (X_w \text{ experimental} - X_w \text{ calculada})^2}}{n}, \text{ on } n \text{ és el nombre d'observacions}$$

(2) Els valors de R^2 de les mostres SAC+MW que es mostren, en primer lloc fa referència al tram combinat i a continuació al tram final assecat únicament amb SAC.

La influència de les condicions de tractament (temperatura d'assecat i aplicació de microones) en les constants cinètiques es va estudiar mitjançant una anàlisi de la variància (ANOVA). L'aplicació de microones a l'assecat convectiu va suposar no sols l'existència d'un primer període de velocitat d'assecat constant, sinó també un augment significatiu ($p < 0,05$) en la velocitat d'assecat en el període decreixent (valors significativament majors de K). Aquest comportament queda reflectit en la notable reducció dels temps de procés descrits ja amb anterioritat. El major valor de la constant cinètica K obtingut al tractament combinat front al tractament convectiu a 40°C pot ser a causa a la major facilitat de difusió i evaporació de l'aigua com a conseqüència d'una estructura cel·lular més oberta, generada pel vapor d'aigua que es puga haver format en l'interior de la fruita gràcies a les majors temperatures arribades a l'aplicar microones. En comparar la constant "a" del primer període constant del tractament combinat amb l'assecat per microones, l'anàlisi estadístic no va reflectir un augment significatiu ($p < 0,05$) de la velocitat d'assecat, el que posa de manifest que durant aquest període les microones governen la velocitat del procés i per tant, l'ús de l'aire calent no aporta avantatges des del punt de vista cinètic. Tampoc en l'assecat convectiu, la major temperatura de l'aire d'assecat emprada (60°C) va suposar un augment significatiu de la velocitat d'assecat

Açò podria ser degut a l'aparició d'una costra superficial que oferiria resistència a l'eixida de l'aigua del producte quan s'utilitza la temperatura major.

Amb la finalitat de comprovar la bondat dels models ajustats, es van obtenir les corbes d'assecat teòriques emprant els valors dels paràmetres de les equacions ajustades i es van representar junt amb les corbes d'assecat experimentals, per a cada tractament assajat (Figura 2). Es pot observar que els models proposats reproduïen amb adequada precisió l'evolució de la humitat del producte amb el temps de procés. Els valors baixos obtinguts per a l'error estàndard (SE) (entre 0,016 i 0,05) i els valors elevats de R^2 (entre 0,981 i 0,998), que es resumeixen també en la Taula 2, validen la confiabilitat dels respectius models utilitzats. Per tant, les equacions proposades poden considerar-se adequades per a predir cinètiques-temps d'assecat en tractaments per microones i per aire calent (sense o amb aplicació d'energia microones) d'albercoc a 40 i 60°C i 100 W, la qual cosa resulta de gran utilitat a l'hora de determinar rendiments de l'operació i optimitzar les condicions a objecte de dissenyar els equips industrials necessaris.

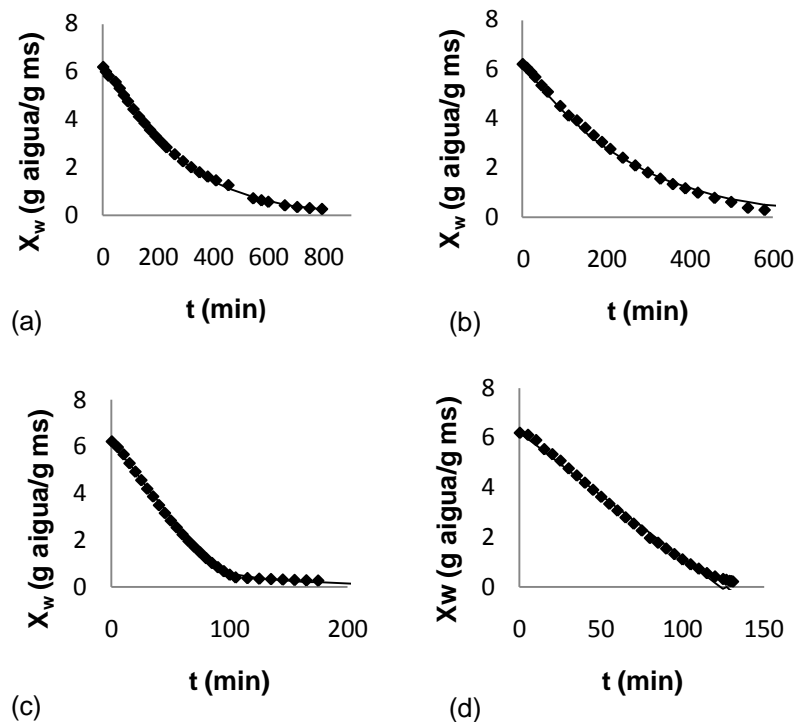


Figura 2. Exemples de corbes de velocitat d'assecat experimental (\blacklozenge) i teòrica (—) per als diferents tractaments d'assecat aplicats. (a) SAC 40 (b) SAC 60 (c) SAC+MW i (d) MW

Efecte de les condicions d'assecat i el pretractament amb metabisulfit de sodi sobre les propietats físiques i físico-químiques de l'albercoc

Com es pot observar a la Taula 3, totes les mostres processades mostraren un contingut d'**aigua** similar i amb conseqüència, de **sòlids solubles** amb independència de les condicions d'assecat. Per altra banda,

els valors d'**activitat de l'aigua** foren superiors als que es consideren segurs per al creixement microbià, però com que el contingut en sucres és elevat (0,72 (0,05)) i el pH àcid, aquest creixement es considera improbable. Per últim, es va observar un increment generalitzat del **pH** a les orellanes respecte a la fruita fresca, d'igual manera com ho varen obtenir Madran et al. (2009) amb altres varietats d'albercoc.

Taula 3. Valors mitjans (desviació estàndard) del contingut en aigua (x_w , g aigua/g fruita) i sòlids solubles (x_s , g sòlids solubles/g fruita), activitat de l'aigua (a_w) i pH d'albercoc, i orellanes d'albercoc obtinguts amb (P) o sense pretractament (NP) pels diferents tractaments d'assecat assajats.

Condicions de processat		x_w	x_s	a_w	pH
Fresc		0,87 (0,04) ^a	0,1500 (0,0005) ⁱ	0,983 (0,004) ^a	3,58 (0,02) ^e
NP	SAC 40	0,243 (0,003) ^{de}	0,667 (0,006) ^g	0,788 (0,04) ^{bc}	3,743 (0,006) ^{bcd}
	SAC 60	0,242 (0,002) ^e	0,753 (0,006) ^c	0,787 (0,02) ^{cd}	3,803 (0,006) ^{abcd}
	SAC+MW	0,246 (0,002) ^{cd}	0,739 (0,007) ^d	0,791 (<0,001) ^b	3,817 (0,006) ^{abcd}
	MW	0,245 (0,002) ^{cde}	0,679 (0,004) ^f	0,789 (<0,001) ^{bc}	3,703 (0,006) ^{cd}
P	SAC 40	0,2479 (0,0011) ^{bc}	0,653 (0,004) ^h	0,791 (0,002) ^b	4,11 (0,02) ^a
	SAC 60	0,2485 (0,0015) ^b	0,784 (0,007) ^a	0,783 (0,001) ^{de}	3,940 (0,010) ^{abc}
	SAC+MW	0,2473 (0,0017) ^{bc}	0,765 (0,007) ^b	0,791 (0,001) ^{bc}	4,050 (0,010) ^{ab}
	MW	0,2475 (0,0033) ^{bc}	0,691 (0,004) ^e	0,780 (0,002) ^e	4,310 (0,010) ^{abc}

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa columna van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

Els **paràmetres mecànics** analitzats que s'han obtingut a partir de les corbes obtingudes mitjançant un assaig de punció realitzat en les mostres fresques i deshidratades han sigut: el pendent inicial de la corba en la zona lineal (S_i), la força màxima requerida pel punxó per a travessar completament la mostra, la deformació en eixe punt i la relació força-deformació en el punt de fractura. Tal com ha sigut assenyalat per alguns autors (Prothon et al., 2001) el pic de força màxima i el ràtio força/deformació són paràmetres relacionats amb la fermesa o resistència del producte a la fractura, mentre que el pendent inicial es relaciona amb el mòdul d'elasticitat de la mostra. De tots aquests paràmetres mecànics, el que ha permès evidenciar millor diferències significatives entre les condicions de procés assajades ha sigut el pendent inicial de la corba (S_i). En la Figura 3 es mostren els valors mitjans obtinguts per als diferents tractaments d'assecat, amb (P) o sense (NP) pretractament previ amb metabisulfit sòdic.

Atenent a l'efecte del pretractament amb metabisulfit sòdic, s'observa que les orellanes no pretractades presenten un pendent inicial significativament major ($p < 0,05$) per a unes mateixes condicions d'assecat. Destaquen en particular les mostres NP i deshidratades per aire calent, amb valors molt superiors i iguals als obtinguts per a l'albercoc fresc. Aquests resultats indiquen que: a) el pretractament amb metabisulfit sòdic provoca una reducció significativa del caràcter sòlid de la mostra, donant lloc a un producte més gomós, amb independència de les condicions d'assecat emprades, i b) l'aplicació de microones té aquest mateix efecte quan no hi ha pretractament. A més, no es va apreciar un efecte notable de la temperatura de l'aire d'assecat en cap cas, la qual cosa indica que les microones pareixen ser les que principalment influeixen en la resposta obtinguda.

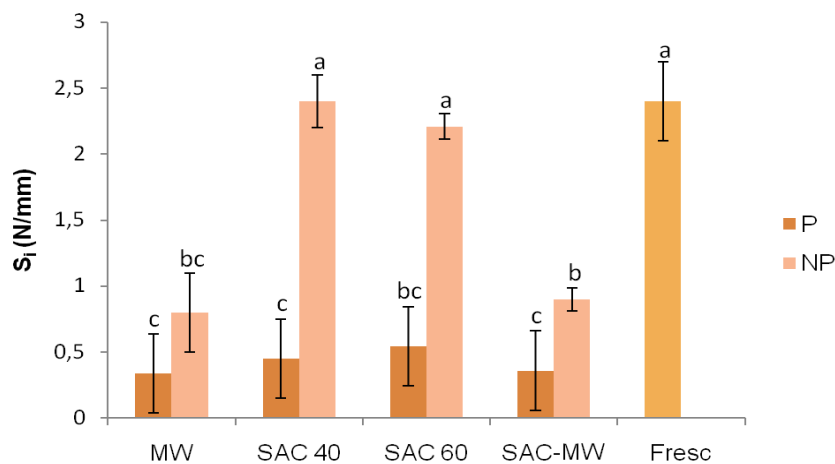


Figura 3. Valors mitjans del pendent inicial de les corbes obtingudes als assajos de punció realitzats a l'albercoc fresc i les orellanes d'albercoc obtingudes amb pretractament (P) o sense pretractament (NP) pels diferents tractaments d'assecat. Mitjanes amb diferents lletres van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

La diferent resposta mecànica observada entre la fruita fresca i el producte deshidratat està relacionada amb els canvis en la paret cel·lular i en la composició de la fase líquida (augment de la matèria seca) que tenen lloc durant l'assecat de la fruita (Contreras, 2005). En aquest sentit, l'aplicació de microones, que suposa una major solubilització pèctica en aconseguir majors temperatures en el producte i la formació d'estructures més obertes (Contreras, 2005), i el pretractament amb metabisulfit sòdic (que podria solubilitzar les pectines unides a la paret cel·lular per ions calci (Femenia et al., 1998)), pareixen permetre obtenir productes d'estructura més característica de les orellanes d'albercoc.

En la Taula 4, es resumeixen els valors mitjans de la **lluminositat, el to, el cromà i la diferència de color** amb respecte a la fruita fresca, corresponents a les mostres deshidratades utilitzant els diferents tractaments d'assecat estudiats i per a l'albercoc fresc. De manera general, és possible observar que la deshidratació va provocar una disminució de la coordenada L^* i del to, així com un increment de la puresa de color o cromà.

El pretractament amb metabisulfit sòdic aporta major lluminositat a les mostres d'albercoc deshidratat, tal com es desprèn dels valors significativament més alts ($p < 0,05$) de la coordenada L^* , per a unes mateixes condicions de deshidratació (Taula 4). Aquest paràmetre ha sigut considerat com una mesura indirecta de l'enfosquiment ocasionat durant la deshidratació de fruites (Maskan, 2001; Àvila i Silva, 1999; Ibarz et al., 1999), per la qual cosa l'enfosquiment va resultar major en les mostres d'albercoc no pretractades. Aquest efecte ha sigut observat prèviament per altres autors al pretractar albercoc amb diferents agents sulfurats, com metabisulfit de potassi (Mir et al., 2009) o sofre en sec (Karabulut et al., 2007). El diòxid de sofre és usat àmpliament en la indústria alimentària per a reduir la velocitat d'enfosquiment que es produeix en les fruites durant la seua deshidratació i emmagatzemament, gràcies a la seua acció reductora d'oxigen, que ajuda a l'estabilització dels carotens. Quan el diòxid de sofre és absorbit per la fruita, és convertit principalment en ió bisulfit, que roman

lliure retardant la formació de compostos de tipus Maillard (Mir et al., 2009). Tant el metabisulfit de sodi com el de potassi són emprats per a generar diòxid de sofre i els seus corresponents anions.

Taula 4. Valors mitjans (desviació estàndard) de la lluminositat (L*), cromàcia (C*ab), to (h*ab) i diferència de color (ΔE) respecte a la fruita fresca de les mostres d'orellanes obtingudes amb (P) o sense pretractament (NP) pels diferents tractaments d'assecat assajats.

Condicions de processat	L*	C* _{ab}	h* _{ab}	ΔE	
Fresc	68,2 (1,6) ^a	10,3 (1,8) ^e	92,9 (2,4) ^a	-	
NP	SAC 40	33.4 (1.3) ^{et}	25 (3) ^c	57 (3) ^e	58 (3) ^b
	SAC 60	30.3 (1.5) ^f	16 (3) ^d	50 (7) ^f	67 (3) ^a
	SAC+MW	44 (5) ^c	32 (4) ^b	73 (2) ^b	52 (3) ^c
	MW	33 (3) ^{et}	23 (3) ^c	64.6 (1.3) ^{cd}	59 (3) ^b
P	SAC 40	38 (6) ^d	35 (7) ^b	61 (6) ^{de}	48 (6) ^d
	SAC 60	38 (3) ^{de}	33 (2) ^b	65 (2) ^{cd}	49,1 (1,6) ^{cd}
	SAC+MW	49 (7) ^b	49 (7) ^a	73 (2) ^b	39 (2) ^e
	MW	36 (3) ^{de}	34 (4) ^b	69 (3) ^c	48 (4) ^d

Diferents lletres en la mateixa columna indiquen valors significativament diferents ($p < 0,05$)

La influència de les condicions d'assecat (temperatura de l'aire d'assecat o de l'aplicació de microones) sobre el color superficial de l'albercoc deshidratat s'ha observat mitjançant l'anàlisi estadístic dels resultats per grups (P i NP), prenent com a referència els resultats característics de la mostra fresca. La significació estadística dels resultats comentats es poden observar a la Taula 4. El tractament combinat SAC+MW és el que va permetre obtenir una lluminositat i un to més propers a la mostra fresca i valors superiors de la puresa de color, el que permet obtenir unes característiques de color millors amb menor enfosquiment de la fruita, donant lloc a un producte amb un color més proper al característic de l'albercoc. Açò podria ser a causa de la reducció en el temps d'assecat aconseguït a l'aplicar microones a l'assecat convectiu. El tractament SAC+MW és el que ha provocat menors diferències de color (ΔE) respecte a la fruita fresca.

Efecte de les condicions d'assecat i el pretractament amb metabisulfit de sodi sobre els compostos bioactius de l'albercoc

El contingut d'**àcid ascòrbic** (AA) de l'albercoc depèn, a més de la varietat i de l'àrea geogràfica, de l'estat de maduració de la fruita (Karatas i Kamish, 2007). A pesar de no existir molts estudis que comparen la quantitat d'AA de diferents varietats d'albercoc, s'estima que el seu valor oscil·la entre 2-10 mg/100 g (Munzuroglu et al., 2003; Akin et al., 2008). L'albercoc fresc va presentar un contingut en AA de 3,34 (0,07) mg/100g (Taula 5), valor semblant als descrits per altres autors per a la varietat Roig de Carlet (Lo Voi et al., 1994; Kervers et al., 2007).

El pretractament amb metabisulfit va provocar la pèrdua total de l'AA, tal com van observar altres autors (Piga et al., 2004). El caràcter hidrosoluble d'aquest àcid pot haver provocat el pas de la fruita a la dissolució durant el tractament d'immersió. En aquest sentit Kamisli et al. (2009) van observar

que les pèrdues de vitamina C en albercoc pretractat amb H₂SO₄ eren en funció del temps que la mostra estava submergida en la dissolució i de la seua concentració. No obstant això, altres estudis mostren la capacitat del sulfur per a protegir a l'AA de l'oxidació (Mir et al., 2009).

Després dels processos d'assecat estudiats les mostres van patir un descens significatiu d'AA. Les pèrdues de les mostres assecades per aire calent a 40 i 60°C van ser del 72% i 68% respectivament mentre que les mostres assecades per energia microones sola o combinada amb aire calent van presentar pèrdues de 27% i 38% respectivament. La pèrdua d'aquest àcid a causa de l'assecat per aire calent està àmpliament documentada en bibliografia (Ryley i Kajda, 1993; Piga et al., 2004). El factor de degradació més important de l'AA és l'oxidació i la termolabilitat d'aquest compost. A més, l'AA pot actuar com a substrat en les reaccions de Maillard (Gregory, 1993).

Taula 5. Valors mitjans (desviació estàndard) de l'àcid ascòrbic (mg/100g) de l'albercoc fresc i de les orellanes obtingues amb (P) o sense pretractament (NP) pels distints tractaments d'assecat assajats.

Condicions de processat		Àcid ascòrbic mg/100g
NP	Fresc	3,34 (0,07) ^a
	SAC 40	0,947 (0,013) ^e
	SAC 60	1,08 (0,02) ^d
	SAC + MW	2,06 (0,05) ^c
	MW	2,45 (0,03) ^b
P	Pretractat	0 ^f
	SAC 40	0 ^f
	SAC 60	0 ^f
	SAC + MW	0 ^f
	MW	0 ^f

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa columna van ser significativament diferents (p<0,05)

Les **vitamines A i E**, junt amb la vitamina C, són considerats els compostos antioxidants amb major activitat davant de l'oxidació no enzimàtica en l'organisme (Halliwell, 1994). L'albercoc fresc va presentar un contingut en vitamina A de 0,013 mg/100g i 1,67 g/100g de vitamina E (Taula 6), valors semblants als trobats en bibliografia (Karatas i Kamisli, 2007; Kamisli i Karatas, 2009). El contingut en estos compostos no es va veure afectat pel tractament de sulfitació de les mostres. En general tots els tractaments d'assecat emprats van augmentar significativament (p<0,05) ambdós substàncies, augmentant per tant el poder antioxidant dels productes obtinguts. (Kamisli i Karatas, 2009).

Taula 6. Valors mitjans (desviació estàndard) de les vitamines A i E (mg/100g) de l'albercoc fresc i de les orellanes obtingues amb (P) o sense pretractament (NP) pels distints tractaments d'assecat assajats.

Condicions de processat		Vitamina A (mg/100g)	Vitamina E (mg/100g)
NP	Fresc	0,013 (0,000) ^h	1,67 (0,04) ^f
	SAC 40	0,064 (0,007) ^{bc}	3,04 (0,12) ^{de}
	SAC 60	0,034 (0,002) ^{tg}	0,94 (0,17) ^g
	SAC + MW	0,055 (0,006) ^{cd}	4,1 (0,4) ^b
	MW	0,043 (0,004) ^{ef}	1,88 (0,15) ^f
P	Pretractat	0,018 (0,003) ^h	2,01 (0,16) ^f
	SAC 40	0,094 (0,004) ^a	3,89 (0,02) ^{bc}
	SAC 60	0,069 (0,006) ^b	2,7 (0,2) ^e
	SAC + MW	0,031 (0,002) ^g	3,4 (0,6) ^{cd}
	MW	0,051 (0,002) ^{de}	5,2 (0,3) ^a

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa columna van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

La composició nutricional i el contingut en fitoquímics, com els fenols i **carotenoides**, fan que l'albercoc siga considerat un aliment funcional, com és el cas d'altres fruites i vegetals, el consum del qual en la dieta s'ha convertit en un indicatiu d'una vida saludable (Dragovic-Uzelac et al., 2007; Leccese et al., 2008). La mostra fresca va presentar 1,80 mg carotenoides/100 g (Taula 7), valor comprés en el rang descrit per diferents estudis realitzats amb varietats d'albercoc espanyoles (1,36 i 38,52 mg/100g) (Ruiz et al., 2005). Encara que altres autors han descrit que l'acció antioxidant del sulfurós ajuda a l'estabilització i preservació dels carotenoides (Mir et al., 2009), el pretractament amb metabisulfit aplicat en aquest estudi no va afectar significativament ($p > 0,05$) a aquests compostos. La principal causa de degradació de carotenoides és l'exposició a l'oxigen i a les altes temperatures (Meléndez-Martínez et al., 2004); en aquest sentit, després dels tractaments d'assecat es va observar un descens significatiu ($p < 0,05$) dels mateixos en les mostres assecades per aire calent quan es partia d'albercoc pretractat i en les mostres assecades amb microones o amb el tractament combinat quan es partia d'albercoc fresc. Les pèrdues en la mostres comentades anteriorment foren al voltant del 17%.

Quant als **fenols totals** (Taula 7), l'albercoc fresc va presentar 16 mg GAL/100 g, contingut semblant al trobat en bibliografia (Leccese et al., 2008). El pretractament amb metabisulfit de sodi va provocar un augment significatiu ($p < 0,05$) en els fenols totals respecte a les mostres no pretractades com a conseqüència de l'efecte del sofre que elimina l'oxigen ajudant a l'estabilització dels fenols (Glüçlü et al. 2006). La degradació dels compostos fenòlics després de ser sotmesos a altes temperatures i oxigen, ha sigut estudiada per altres autors (Mazza i Miniati, 1993). Aquest efecte s'observa principalment en les mostres d'albercoc seques no pretractades ($p < 0,05$), mentre que en les mostres amb sulfiteació prèvia a l'assecat, només es va observar un descens significatiu ($p < 0,05$) en els fenols en la mostra SAC 40, produint-se unes pèrdues de 40%. Altres estudis van trobar una major pèrdua de compostos fenòlics en processos d'assecat utilitzant menor temperatura, a causa de la major activitat residual de l'enzim

polifenoloxidasa, principal causa de la seua degradació (Del Caro et al., 2004).

Taula 7. Valors mitjans (desviació estàndard) dels carotenoides (mg/100g) i fenols totals (mg GAL/100g) de l'albercoc fresc i de les orellanes obtingudes amb (P) o sense pretractament (NP) pels distints tractaments d'assecat assajats.

Condicions de processat	Carotenoides (mg/100g)	Fenols totals (mg GAL/100g)	
NP	Fresc	1,80 (0,06) ^{ab}	16 (2) ^e
	SAC 40	1,70 (0,04) ^{bc}	9,27 (1,06) ^g
	SAC 60	1,64 (0,03) ^{cd}	14,20 (1,07) ^f
	SAC + MW	1,46 (0,04) ^f	14,42 (1,02) ^f
	MW	1,54 (0,03) ^{def}	15,2 (0,9) ^{ef}
P	Pretractat	1,89 (0,09) ^a	21,6 (0,6) ^c
	SAC 40	1,502 (0,000) ^{ef}	18,9 (0,3) ^d
	SAC 60	1,59 (0,05) ^{cde}	21,5 (0,4) ^c
	SAC + MW	1,75 (0,06) ^{ab}	24,3 (0,8) ^b
	MW	1,69 (0,03) ^{bc}	31,1 (0,7) ^a

Mitjanes amb diferents lletres en la mateixa columna van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

En la Figura 4 es mostren els valors mitjans de l'**activitat antioxidant** de les mostres estudiades expressades com % de DPPH. L'activitat antioxidant de les fruites podria ser influenciada pel lloc geogràfic d'origen, la manera de conrear, recol·lectar i d'emmagatzemament (Van Der Sluis et al., 2001). A més, és molt dependent del contingut en pigments carotenoides, components fenòlics i flavonoides (Guo et al., 2003; Güçlü et al., 2006). Com es pot observar en la Figura 4, l'albercoc fresc va presentar un 11,7 (1,7)% DPPH, no obstant això després del pretractament l'albercoc va augmentar significativament ($p < 0,05$) a un 34,5 (0,3) % la seua activitat antioxidant. S'aprecia la mateixa tendència descrita per al contingut en fenols totals, és a dir, totes les mostres pretractades amb metabisulfit de sodi van mostrar un augment significatiu en l'activitat antioxidant respecte al mateix mètode d'assecat amb mostra sense pretractar. Açò pot ser a causa del sulfur aplicat durant la seua elaboració, aquest reactiu contribueix en la quantificació de l'activitat antioxidant en tots els mètodes analítics basats en la transferència d'electrons, com és el cas del DPPH i del mètode Folin per a la determinació de fenols totals, proporcionant valors majors al propi de la mostra (Güçlü et al., 2006). En aquest sentit, en altres estudis s'ha observat també un augment en l'activitat antioxidant dels albercocs secs comparats amb els frescos, concloent els autors que aquest fet és un indicatiu que els albercocs havien sigut tractats amb SO_2 durant l'assecat (Güçlü et al., 2006).

Per altra banda, també s'observa a la Figura 4 que el tractament d'assecat disminueix significativament l'activitat antioxidant respecte a la mostra fresca pretractada o sense pretractar. Aquest fet també s'ha observat en altres treballs com el presentat per Ishiwata et al. (2004), on es mostrava que les fruites assecades presentaven uns valors d'activitat antioxidant menors que la mostra fresca. Aquest fet pot ser degut a l'efecte de la temperatura, ja que s'observa que les mostres sotmeses a temperatures inferiors o amb menor temps exposades a alta temperatura, com és el tractament combinat i el tractament amb microones, la reducció ha sigut menor. Si es comparen els assecats convectius, s'observa que l'ús de major

temperatura d'assecat provoca una reducció major en l'activitat antioxidant de l'orellana.

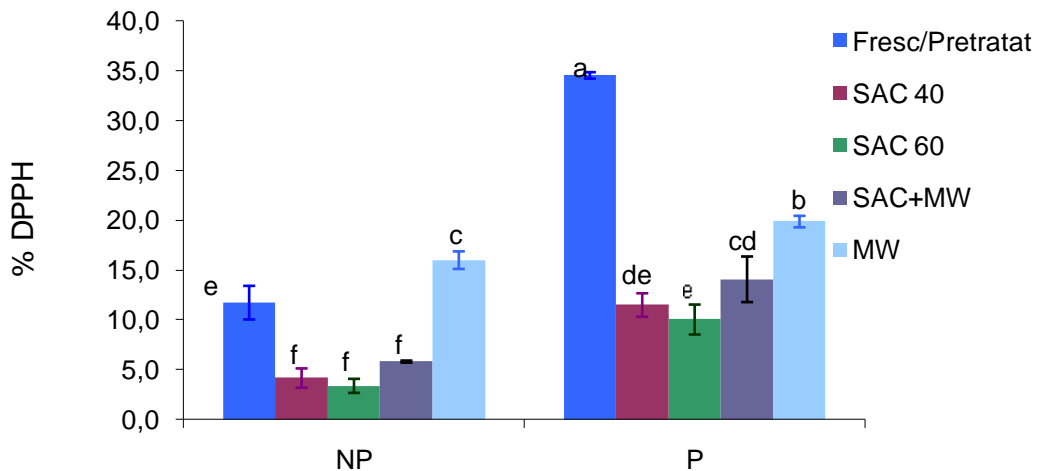


Figura 4. Valors mitjans i desviació estàndard de l'activitat antioxidant (%DPPH) de l'albercoc fresc i de les orellanes obtingudes amb (P) o sense pretractament (NP) pels distints tractaments d'assecat assajats. Mitjanes amb diferents lletres van ser significativament diferents ($p < 0,05$)

Com es pot observar a la Taula 8, la major aportació significativa a l'activitat antioxidant la proporciona el contingut en fenols total seguint-li els carotenoides total. L'activitat antioxidant dels compostos fenòlics és deu principalment a les propietats redox, que els permet actuar com a agents reductors, donants d'hidrogen, bloquejants del singulet d'oxigen i captadors de radicals OH⁻ (Múrcia i Martínez Tomé, 2000). Velioglu et al. (1998) i Kalt et al. (1999) observaren que el coeficient de correlació entre els fenols total i l'activitat antioxidant fou estadísticament significatiu. A més, els resultats obtinguts coincideixen amb la bibliografia consultada per a albercoc (Karakaya et al., 2001; Leccesse et al., 2008; Jiménez et al., 2008).

Taula 8. Coeficients de correlació entre el contingut d'àcid ascòrbic, vitamina A, vitamina E, carotenoides total, fenols total i activitat antioxidant (%DPPH).

	%DPPH	AA	Vit A	Vit E	Carotenoides	Fenols
%DPPH		0,2952	0,4124	0,0222	0,4679*	0,5314*
AA			-0,3862	-0,4012	-0,0920	-,05475*
Vit A				0,5195*	-0,6720*	-0,0651
Vit E					-0,2558	0,4735*
Carot Total						0,2310
Fenols						

CONCLUSIONS

L'estudi de la cinètica d'assecat ha permès constatar que l'aplicació de microones, combinades o no amb assecat convectiu, va suposar una

reducció del 83% del temps del procés. A més, les equacions proposades per a cada mètode d'assecat poden considerar-se adequades per a predir cinètiques-temps d'assecat d'albercoc. L'aplicació de microones i el pretractament amb metabisulfit sòdic pareixen obtenir productes d'estructura més gomosa, característica de les orellanes d'albercoc i un color més proper al de l'albercoc, un menor descens del contingut d'àcid ascòrbic, carotenoides i de l'activitat antioxidant i un major augment dels fenols totals. El pretractament amb metabisulfit de sodi no va afectar o va augmentar la quantitat dels compostos bioactius analitzats. A la vista dels resultats obtinguts, i sempre buscant una solució de compromís entre l'economia del procés (temps de tractament) i la qualitat final del producte, es recomana l'aplicació d'energia microones combinada amb aire calent per a l'obtenció d'orellanes d'albercoc. I en tot cas, es recomana així mateix continuar amb l'estudi d'altres composts fitoquímics.

AGRAIMENTS

Els autors agraeixen al Ministeri de Ciència i Tecnologia i el Fons Europeu de Desenvolupament Regional (FEDER) pel suport financer a través del projecte AGL2002-01793 per a la realització d'aquest treball.

REFERÈNCIES

- Abdelhaq, E.H.; Labuza, T.P. 1987. Air drying characteristics of apricots. *J.Food Sci*, 52 (2): 342, 345, 360.
- Akin, E.B; Karabulut, I.; Topcu, A. 2008. Some compositional properties of main Malatya apricot *Prunus armeniaca* L. varieties. *Food Chemistry*, 107: 939-948.
- Alibas. I.; Akbudak, B.; Akbudak, N. 2005. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78 (2): 577-587.
- A.O.A.C. (1980). *Official methods of analysis* (13th ed.) Washington DC: Association of official analytical chemists.
- Arts, C.W.; Van De Putte, B.; Hollman, P.C.H. 2000. Catechin contents of foods commonly consumed in the Netherlands. 1. Fruits, vegetables, staple foods and processed foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48:1746-1751.
- Ávila, I.M.L.B.; C.L.M. Silva. 1999. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39 (2):161-166.
- Azzouz, S.; Guisan, A.; Jomaa, W.; Belghith, A. (2002). Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. *Journal of Food Engineering*, 55: 323-330.
- Barbosa-Cánovas, G.V.; Vega-Mercado, H. 1996. Other methods of dehydration of foods and packaging aspects. En *Barbosa-Cánovas G.V, Vega-Mercado, H (eds) Dehydration of Foods* Chapman and Hall, New York, 289-320.
- Benzie, I.F.F. ; Strain, J.J. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299: 15-27.
- Bolin, H. R.; Jackson, R. (1985). Factors affecting sulfur dioxide binding in dried apples and apricots. *Journal of Food Processing and Preservation*, (9): 25-34
- Bonafine, O.; Cañizares,A.; Laverde, D. 2006. Importancia de los fitoquímicos en la alimentación. *INIA divulga* 7. Enero-Abril.
- Chou, S. K.; Chua, K. J. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 12 (10): 359-369.

- Contreras, C.; Martín-Esparza, M.E.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. 2005. Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes which occurred during air-drying of apple. *LWT*, 38: 471-477.
- Contreras, C.; Martín-Esparza, M.E.; Martínez-Navarrete, N.; Chiralt, A. 2007. Influence of osmotic pre-treatment and microwave application on properties of air dried strawberry related to structural changes. *European Food Research & Technology*, 224: 499-504.
- Contreras, C.; Martín-Esparza, M.E.; Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88: 55-64.
- Crivelli, G. 1997. *Italus Hortus*. 4:48-53.
- Del Caro, A.; Piga, A.; Pinna, I.; Fenu, P.M.; Agabbio, M. 2004. Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity and ascorbic acid of prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4780-4784.
- Di Matteo, V.; Esposito, E. 2003. Biochemical and Therapeutic Effects of Antioxidants in the Treatment of Alzheimer's Disease, Parkinson's Disease, and Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Curr Drug Target Neurol Disord*, 2: 95-107.
- Dragovic-Uzelac V.; Delonga, K.; Levaj, B.; Djakovic, S.; Pospisil, J. 2005a. Phenolic profiles of raw apricots pumpkins and their purees in the evaluation of apricot nectars and jams authenticity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4836-4842.
- Dragovic-Uzelac V.; Delonga, K.; Levaj, B.; Djakovic, S.; Pospisil, J. 2005b. The study of phenolic profiles of raw apricots and apples and their purees by HPLC for the evaluation of apricot nectars and jams authenticity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 91(2): 373-383.
- Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., Boras, M. 2007. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry*, 102 (3): 966-975.
- Femenia, A.; Sánchez, E.S.; Simal, S.; Rosselló, C. 1998. Developmental and ripening-related effects on the cell wall of apricot (*Prunus armeniaca*) fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 487-493.
- Feng, H.; Tang, J.; Scott Mattinson, D.; Keegan Fellman, J. 1999. Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: The effect of drying and pre-treatment methods on physical properties and retention of flavour volatiles. *Journal of Food Processing Preservation*, 23: 463-479.
- Feskanich, D.; Ziegler, R.G.; Michaud, D.S.; Giovannucci, E.L.; Speizer, F.E.; Willet, W.C. 2000. Prospective study of fruit and vegetable consumption and risk of lung cancer among men and women. *Journal of the National Cancer Institute*, 92: 1812-1823.
- Fito, P.; Chiralt, A.; Barat, J.M.; Andrés, A.; Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N. 2001. Vacuum Impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49: 297-302.
- Fraser, P. D., Bramley, P. M. 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*. 43 (3): 228-265.
- Gowen, A.A.; Abu-Ghannam, N.; Frias, J.M.; Barat, J.M.; Andrés, A.M.; Oliveira, J.C. 2006. Comparative Study of Quality Changes Occurring on Dehydration and Rehydration of Cooked Chickpeas *Cicer Arietinum* L. Subjected to Combined Microwave-Convective and Convective Hot Air Dehydration. *Journal of Food Science*, 71: 282-289.
- Gregory, I.F. III 1993. Vitamins. In: Fennema, O. (ed.). *Food Chemistry*, 3th edition, 531-616. Marcel Dekker, New York.
- Güçlü, K.; Altun, M.; Özyürek, M.; Karademir, S.E.; Apak, M. 2006. Antioxidant capacity of fresh, sun- and sulphited-dried Malatya apricot *Prunus armeniaca* assayed by CUPRAC, ABTS/TEAC and folin methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 76-85.
- Guemouri, L.; Artur, Y.; Herbeth, B.; Jeandel, C.; Cuny, G.; Siest, G. 1991. Biological variability of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and catalase in blood. *Chemical Chemistry*, 37: 1932-1937.
- Guo, C.; Yang, J.; Wei, J.; Li, Y.; Jiang, Y. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determinate by FRAP assay. *Nutrition Research*, 23: 1719-1726.

- Halliwell, B. 1994. Free radical antioxidants in human disease. Curiosity, cause or consequence. *Lancet*, 344: 72-74.
- Ibarz, A.; Pagán, J.; Garza, S. 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39: 415–422.
- Ishiwata, K.; Yamaguchi, H.; Takamura, M.; Matobat, T. 2004. DPPH Radical-Scavenging Activity and Poly phenol Content in Dried Fruits. *Food Science and Technology*, 10 (2): 152-156.
- Jian, L.; Lee, A.H.; Binns, C.W. 2007. Tea and lycopene protect against prostate cancer. *Asia Pac J Clin Nutr*. 16 Suppl, 1: 453-457.
- Jimenez, A.M.; Martínez-Tomé, M.; Egea, I.; Romojaro, F.; Murcia, M.A. 2008. Effect of industrial processing and storage on antioxidant activity of apricot (*Prunus armeniaca* v. *Bulida*). *European Food Research Technology*, 227: 125-134.
- Kalt, W.; Forney, C.F.; Martin, A.; Prior, R.L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4638-4644.
- Kamisli, F.; Karatas, F. 2009. Effects of sulphurisation on vitamins (A, C and E) and malondialdehyde in apricots. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 987–993
- Kanawade, V.L.; Narain, M. 1993. Effect of pre-treatment and drying air temperature on quality of peas dehydration in fluidized bed dryer. *Journal Food and Science Technology*, 30 (2):118-120.
- Karabulut, I.; Topcu, A.; Duran, A.; Turan, S.; Ozturk, B. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and b-carotene content of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *LWT*, 40: 753-758.
- Karakaya, S.; El, S.N.; Taç, A.A. 2001. Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. *Int. Journal of Food Science and Nutrition*, 52: 501-508.
- Karathanos, V.T.; Belessiotis, V.G. 1999. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74: 355-361.
- Karatas, F.; Kamisli, F. 2007. Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *Journal of Food Engineering*, 78: 662–668
- Kevers, C.; Falkowski, M.; Tabart, J.; Defraigne, J.O.; Dommès, J.; Pincemail, J. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8596-8603.
- Khedkar, D.M.; Roy, S.K. 1983. Adsorption and retention of sulphur-dioxide in raw mango slices during drying and dehydration. *J. Food Science and Technology*, 20: 38-39
- Leccese, A.; Bartolini, S.; Viti, R. 2008. Total antioxidant capacity and phenolics content in fresh apricots. *Acta Alimentaria*, 37 (1): 65-76.
- Lin, T.M.; Durance, T.D.; Scaman, C.H. 1999. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31 (2): 111–117.
- Lo Voi, A.; Impembo, M.; Fasanaro, G.; Castaldo, D. 1994. Chemical characterization of apricot puree. *Journal of Food Composition and Analysis*, 8: 78-85.
- Machlin, L.J. i Bendich, A. 1987. Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients. *FASEB Journal*, 1: 441-445.
- Madrau, M.A.; Piscopo, A.; Sanguinetti, A.M.; Del Caro, A.; Poiana, M.; Romeo, F.V.; Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*, 228: 441-448.
- Maskan, M.; Ibanoglu, S. 1998. Drying behaviour of infrared dried tarhana dough. *Proceedings of Food Engineering Congress*, 171-177.
- Maskan, M. 2000. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48: 169-175.
- Mazza, G.; Miniati, E. 1993. Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains, *CRC Press, Boca Raton*, p. 362
- Meléndez-Martínez, A.J.; Vicario, I.M.; Heredia, F.J. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, publicación oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición (SLAN), 54 (2)

- Mir, M.A.; Hussain, P.R.; Fouzia, S.; Rather, A.H. 2009. Effect of sulphiting and drying methods on physicochemical and sensorial quality of dried apricots during ambient storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 1157-1166.
- Mohr, E. 1994 Quality investigation of raw cocoa beans from the 1992/1993 harvest. *Gordian*, 94 (1): 2-11.
- Munzuroglu, O.; Karatas, F.; Geckil, H. 2003. The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. *Food Chemistry*, 83: 205–212.
- Murcia, M. A.;M. Martínez Tomé. 2000. Antioxidant activity of resveratrol compared with common food additives. *Journal Food Protect*, 64: 379-384.
- Olives Barba, A.I.; Cámara Hurtado, M.; Sánchez Mata, M.C.; Fernández Ruiz, V.; López Sáenz de Tejada, M. 2006. Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95: 328-336.
- Pellegrini, N.; Serafini, M.; Colombi, B et al. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in Vitro assays. *The Journal of Nutrition*, 133: 2812- 2819.
- Piga, A.; Poiana, M.; Pinna, I.; Agabbio, M.; Minciane, A. 2004. Drying performance of five Italian apricot cultivars. *Sciences des Aliments*, 24:247-259.
- Piotrowski, D.; Lenart, A.; Wardzyski, A. 2004. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*, 65(4): 519-525.
- Prothon, F.; Ahrne, L. M.; Funebo, T.; Kidman, S.; Langton, M.; Sjöholm, I. 2001. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 34: 95–101.
- Puupponen, P.; Hakkinen, S.; Aarni, M.; Suortti, T.; Lampi, A.; Eurola, M.; Piironen, V.; Nuutila, A.; Oksman-Caldentey. 2003. Blanching and longterm freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 83: 1389-1402.
- Roselló, C.; Cañellas, J.; Santiesteban, I.; Mulet, A. 1993. Simulation of the absorption process al sulphur dioxide in apricots. *Lebensm-Wiss. U-technol*, 26 (4): 322-328.
- Ruiz, D.; Egea, J.; Gil, M.I.; Tomás-Barberán, F.A. 2005. Carotenoids from new apricot *Prunus armeniaca* L. varieties and their relationship with flesh and skin colour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 6368-6374.
- Ryley J.; Kajda P. 1993. Vitamins in thermal processing. *Food Chemistry*, 49 (2): 119-129
- 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.
- Sass-Kiss, A.; Kiss, J.; Milotay, P.;Kerek, M.M.; Toth-Markus, M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38: 1023-1029.
- Scalzo, J.; Politi, A.; Pellegrini, N.; Mezzelti, B.; Battino, M. 2005 . Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21: 117-127.
- Selvendran, R.R.; Ryden, P. 1990. Methods in plant biochemistry. En: P.M.Dey (Ed.), *Carbohydrates*. vol.2., Academic Press, London, 549
- Sharma, T.R.; Sekhon, K.S.; Saini, S.P.S. 1992. Studies of canning of apricot. *Journal of Food Science and Technology*, 29: 22-25.
- Simal, S.; Femenia, A.; Garau, M.C.; Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and difusional models to simulate the drying kinetics of kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 60: 323-328.
- Stryer, L. 1995. *Biochemistry*, 4th edn Pp. 452-455. New York: W.H. Freeman and Company.
- Tomás-Barberán, F.A.; Gil, M.I.; Cremin, P.; Waterhouse, A.L.; Hesspierce, B.; Kader, A.A. 2001. HPLC-DAD-ESIMS Analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4748-4760.
- Van Der Sluis, A.A.; Dekker, M.; De Jager, A.; Jangen, W.M.F. 2001. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year and storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3606-3613.

Velioglu, Y.S.; G. Mazza, L. Gao.; B.D. Oomah. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 46: 4113-4117.

Xu, G.; Liu, D.; Chen, J.; Ye, X.; Ma, Y.; Shi, J., 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry*, 106: 545-551.

Zhang, M.; Tang, J.; Mujumbar, A.S.; Wang, S. 2006 Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food & Technology*, 17: 524-534.

Zanoni, B.; Peri, C.; Giovanelli, G.; Pagliarini, E. 1999. Design and setting up of a water vapour pressure capacitance manometer for measurement of water activity. *Journal of Food Engineering*, 38 (4): 407-423.