

L'assecat de les fruites: idees generals i la seva possibilitat d'utilització com a recurs didàctic

The drying process of fruit: general ideas and their possible use as a teaching resource

José A. Martínez Pons / IES Las Lagunas (Rivas Vaciamadrid)



resum

La conservació dels aliments és una de les preocupacions de la societat. Una de les tècniques més antigues és l'assecat, que començà sent una activitat artesanal i avui és un procés industrial rigorós, amb processos interessants que convé conèixer. En aquest treball es mostren els fonaments d'aquesta tècnica de conservació i alguns experiments que es poden proposar als estudiants.

paraules clau

Transferència de matèria, deshidratació i assecat, conservació dels aliments, reaccions d'embruniment.

abstract

Food's preservation is one of the concerns of human society. One of the techniques that has been used for centuries is drying, but what started as an artisanal activity is today a very rigorous industrial process that hides several interesting procedures. This work shows the scientific basis of this technique and some experiments that can be proposed to students.

keywords

Transfer of matter, dehydration and drying, conservation of food, browning reactions.

Introducció

Una de les preocupacions ancestrals de la humanitat és la conservació dels aliments sense cap pèrdua o amb una mínima pèrdua o modificació de les seves propietats nutritives i organolèptiques: contingut de nutrients, gust, textura, aspecte, etc. L'assecat, a vegades combinat amb el salat o altres tractaments, és un conjunt de tècniques emprades per gairebé totes les cultures la base fonamental de les quals és que la reducció de la humitat té com a conseqüència la inhibició total o parcial de moltes de les reaccions químiques

que produeixen o afavoreixen el deteriorament dels aliments.

A la Mediterrània, l'assecat és una activitat tradicional i encara avui se sol practicar de manera artesanal. Les indústries que s'hi dediquen solen ser petites o mitjanes, i cada dia el mercat està més saturat de productes d'altres països de l'àrea, com ara Turquia, el Marroc o Algèria. El que va començar sent una tècnica empírica i artesanal avui ha arribat a convertir-se en un procés industrial amb una rigorosa base científica que és bo que els estudiants d'ensenyament no

universitari coneguin, de la mateixa manera que és bo que comprenguin alguns dels processos emprats a l'enginyeria química, la qual cosa pot augmentar la seva cultura química.¹

Els aliments deshidratats són nombrosos, però en aquest treball ens referirem únicament als processos d'assecat aplicats a fruites, tot exclouint altres formes de deshidratació, com la liofilització o la melmelada, que s'apliquen també als aliments.

A les taules 1 i 2 es presenta un resum dels valors nutritius d'algunes fruites.

1. L'autor pensa, i és una opinió discutible, que el mateix experiment pot ser útil per a molts nivells d'ensenyament, ja que tot depèn del grau d'aprofundiment que s'hi apliqui. De fet, ell mateix ha utilitzat un model semblant al que s'exposa amb els seus alumnes universitaris, tot adreçant-hi el rigor i l'exigència.

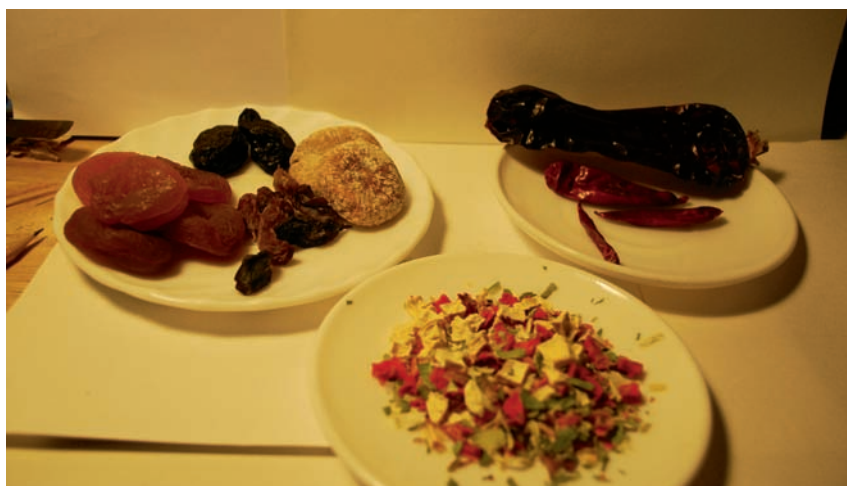


Figura 1. Diversos productes vegetals secs.

Taula 1. Comparació entre producte fresc i producte assecat

	Aigua (%)		Sucres (%)	
	Fresc	Assecat	Fresc	Assecat
Albercoc (<i>Prunus armeniaca</i>)	80-85	32	32	63
Figa (<i>Ficus carica</i>)	85	57	16	26
Dàtil (<i>Phoenix datilifera</i>)	29	19	63	72
Pruna (<i>Prunus</i>)	79	55	9	19
Raïm (<i>Vitis vinifera</i>)	79	22-25	17	63-65

Nota: Les dades varien molt entre autors i són només orientatives.

Taula 2. Comparativa dels principis bàsics continguts a la part comestible de diferents fruites fresques i seques (dades per 100 g de part comestible)

	Figa		Pruna		Raïm		Albercoc	
	Fresc	Assecat	Fresc	Pansa	Fresc	Pansa	Fresc	Assecat
Calories	66	227	45	163	63-67	264	40	23
Glúcids (g)	16	53	11	40	15-16	67	10	56
Fibra (g)	2,5	12	2	16	0,9-0,4	6,5	2	8
Vitamina C (mg)	3,5	1	3	Traces	0	0	7	Traces
Provitamina A (µg)	25	11	21	95	3-3	5	27	107,5
Potassi (mg)	235	970	3	720	250	400	290	1.880
Magnesi (mg)	20	80	8	34	10	36	12	65
Ferro (mg)				2,4	2,5	7,5		4
Calci (mg)	38	250	14	32	36	40		92
Àcid fòlic (µg)					16-26	50		
Vitamina B6 (mg)					0,1-0,1	0,2		

Nota: Les dades varien molt entre autors i són només orientatives.

Utilitat i avantatges de l'assecat

L'assecat s'aplica a productes molt diversos, com ara carns, peixos, verdures, fruites i també infusions, llet, etc. Els productes poden conservar un major o menor grau d'humitat, es poden consumir directament o bé rehidratant-los i es poden dedicar al consum humà, animal o a altres finalitats industrials (fig. 1).

En el cas que els productes es consumeixin directament, convé que conservin o adquireixin aquelles propietats que la tradició i els usos culinaris fan desitjables, com és ara el color, l'olor i la textura (Contreras, 2006).

Quan els productes es rehidraten, hom vol que recuperin al màxim possible les propietats del producte fresc, malgrat que això moltes vegades no és possible a causa de reaccions que tenen lloc durant el procés d'assecat i que poden, per exemple, canviar de forma irreversiblement l'estructura terciària de les proteïnes constitutives.

Resumim:

- Els aliments es degraden a causa de reaccions químiques induïdes per microorganismes. La manca d'humitat disminueix la probabilitat de llur proliferació i també contribueix a la inhibició de les reaccions. A humitats per sota del 10 %, la majoria dels microorganismes no són actius.

- Les propietats aromàtiques es conserven millor a humitats inferiors al 5 %.

- Els aliments amb menys del 5 % d'humitat poden conservar-se per un espai de temps molt llarg (Calleja Pardo et al., 1999).

- Es redueixen la massa i el volum dels aliments, tot facilitant-ne el transport i l'emmagatzematge, de manera que no són necessaris transports especials, com ara els refrigerats.

- Els costos de conservació són menors.

Una mica de química i física de l'assecat

El procés de dessecació consisteix a passar un component líquid volàtil, l'aigua, d'un medi sòlid a un de gasós, l'aire, per evaporació del líquid. El procés d'evaporació es diferencia del d'ebullició, entre altres coses que no es tracta de discutir aquí, pel fet que el primer té lloc a temperatures inferiors a les d'ebullició del líquid vaporitzat.

Els reactors on es du a terme el procés són de tipus molt diversos, segons el producte, el seu contingut en aigua, la temperatura de treball, el procediment de calefacció (directe, en què s'escal-

fa el sequer mitjançant una font externa de calor, o indirecte, en què s'escalfa l'aire que hi circula), de la circulació de l'aire (en paral·lel, contra corrent o mixta) i el tipus d'operació (discontínua, semicontínua o contínua) (fig. 2).

En els mètodes discontinus, es carrega el sequer i es fa circular l'aire de manera que les condicions termodinàmiques són pràcticament constants mentre dura el procés. En l'operació contínua, tant l'aire com el producte entren i surten constantment del sistema i les condicions varien d'un punt a l'altre.

Pel que fa a les temperatures, no convé que siguin massa altes,

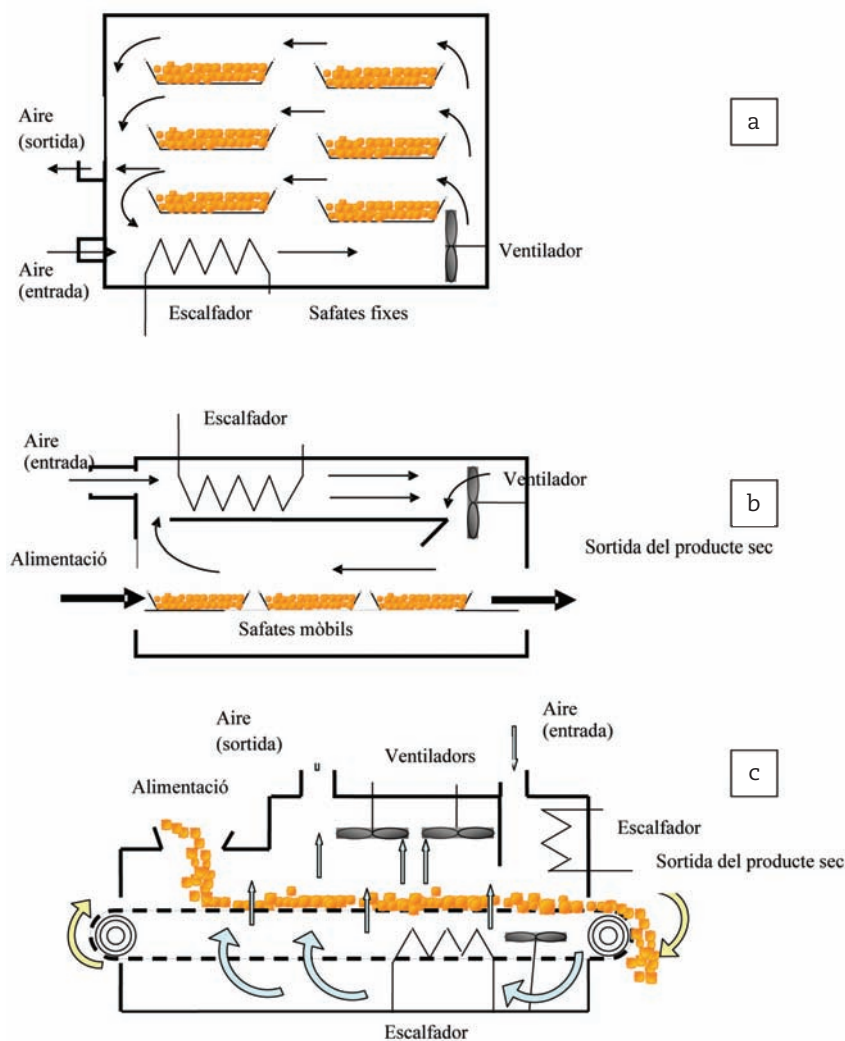


Figura 2. Esquema d'alguns tipus d'assecadors industrials (Calleja Pardo et al., 1999): a) safates fixes i procés discontinu, per càrregues; b) operació contínua, flux contra corrent amb safates mòbils, i c) operació contínua sobre cinta perforada amb flux creuat.



Figura 3. Sequer tradicional d'albercocs.

perquè produïrien deterioracions en el producte final, ni massa baixes, perquè podrien afavorir la proliferació de microorganismes.

Encara és usual el mètode tradicional d'assecat al sol (fig. 3), malgrat la seva dependència de les condicions meteorològiques i el fet que el producte està exposat a la pols, als insectes i a altres contaminants. A més, aquest mètode requereix molt de temps, però és més econòmic i molts experts en cuina opinen que dona un punt especial gastronòmicament molt interessant.

Mecanismes del procés d'assecat en general

En el procés d'assecat en general tenen lloc dos processos (Ocón García i Tojo Barreiro, 1980; Calleja Pardo et al., 1999; McCabe i Smith, 1981): una transferència de calor des del medi a l'interior de la fruita i una transferència d'aigua en sentit contrari, que tindrà lloc mentre la pressió de vapor del líquid estigui per sota de la pressió de vapor de l'aigua a la temperatura de treball. Quan ambdós valors es fan iguals, s'arriba a l'equilibri i el procés acaba. Si la humitat del sòlid és menor que la d'equilibri, el sòlid s'assecarà, però si no, serà el sòlid el que absorbeixi aigua.

El tractament matemàtic, potser fora de lloc per als estudiants

de secundària, es pot simplificar suposant que es tracta d'una operació de transferència de matèria en la qual la velocitat és proporcional a un gradient (col·loquialment, *força impulsora*) d'una magnitud intensiva (aquí, la humitat) i inversament proporcional a una resistència, de manera que es pot expressar de la manera següent:

$$W = \frac{m_s}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right)$$

W: velocitat d'assecat per unitat de superfície.

m_s : massa del sòlid sec.

A: superfície exposada del sòlid.

X: humitat expressada en massa de líquid per unitat de massa de sòlid sec.²

t: temps.

És a dir, l'expressió entre parèntesis representa la variació de la humitat per unitat de temps. El signe negatiu, de manera intuïtiva, indica que la humitat es redueix, més rigorosament que té signe contrari a la velocitat. Cal observar que A pot variar durant l'assecat i que m_s pot ser difícil de valorar.

Si la humitat es refereix al sòlid sec, aleshores l'expressió anterior es pot simplificar de la manera següent:

$$W = - \frac{1}{A} \left(\frac{dm}{dt} \right)$$

Experimentalment, es comprova que inicialment la humitat dis-

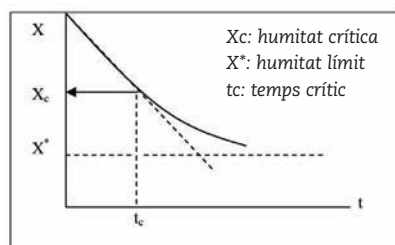


Figura 4. Variació de la humitat en un procés d'assecat amb el temps (esquema qualitatiu).

minueix de manera lineal i que la velocitat d'assecat no depèn de la humitat (fig. 4 i 5) fins a un cert valor crític, a partir del qual la velocitat deixa de ser constant i tendeix assintòticament a la d'equilibri en les condicions (pressió i temperatura) d'operació.

La temperatura d'operació és també important, ja que, a més de transferència de matèria, hi ha una transferència de calor, que és proporcional a un coeficient de transmissió (que depèn del tipus de material que es vol assecar) i a la diferència de temperatures de l'aire d'assecat i de la interfície, i que és inversament proporcional a la calor latent d'evaporació de l'aigua. A la bibliografia, es troben correlacions empíriques, vàlides per a diferents rangs experimentals, per estimar el valor del coeficient.

L'assecat de les fruites: com es fa i per què

És evident que les fruites no són ni de prop un cas ideal. Per tant, és molt difícil fer un tractament rigorós d'un procediment que ja de per si és complicat, com s'acaba d'explicar. Això no obstant, es poden trobar propostes aproximades de models matemàtics aplicables a determinats productes i condicions. Per exemple, Alzamora, Chirife i Voillaz (1979) proposen un model d'evolució de

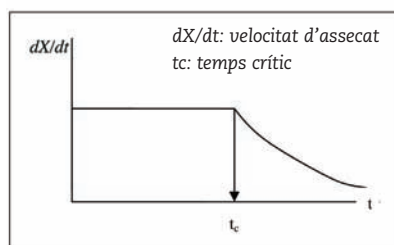


Figura 5. Variació de la velocitat d'assecat amb el temps (esquema qualitatiu).

la temperatura per a l'albercoc. Hi ha també models semiempírics i gairebé tots consideren com a determinants la temperatura de l'aire, la superfície del sòlid, la velocitat de l'aire i el tipus de flux.

Abans de començar l'assecat, els productes tractats de forma industrial són sotmesos a manipulacions físiques i químiques per tal de millorar llur conservació, les propietats de textura i nutritives i, si cal, garantir-ne la rehidratació.

Per exemple, les fruites estan protegides per la «pell», un epitelí recobert per substàncies cerúlies que li donen una certa impermeabilització i que és convenient tractar abans d'assecar. El tractament més comú és un escaldat amb aigua a uns 70 °C durant aproximadament 2 min, dependent de la fruita, o a temperatures més altes durant un temps més breu. Sembla que aquest tractament està relacionat amb una desamiliació de las matèries pèctiques per acció de la polinesterasa, que desmetoxila les pectines afavorint que els àcids carboxílics s'uneixin als ions Ca^{2+} o Mg^{2+} presents en els teixits cel·lulars, tot millorant la seva fermesa.³

Conjuntament o no, es poden emprar processos químics, com ara un tractament amb hidròxid de sodi en dilució, que dissol les ceres i es difon dins la fruita reaccionant amb les substàncies àcides presents i provocant la separació de la pell.

Experimentalment, es comprova que inicialment la humitat disminueix de manera lineal i que la velocitat d'assecat no depèn de la humitat fins a un cert valor crític

2. La humitat es pot expressar de moltes maneres: referida al total de la mostra o la base seca, com es fa aquí, o referida a paràmetres semblants però diferents, com ara humitat d'equilibri, humitat lliure, humitat lligada, humitat deslligada, etc. El fet de tractar-la en aquest tema està fora de lloc per al que es pretén, però es pot veure a Ocón García i Tojo Barreiro (1980).

3. Sobre la gelificació de les pectines, es pot consultar Martínez Pons (2009).



Figura 6. Es pot apreciar com una zona de la poma, tractada amb àcid cítric, al cap de 3 h de xapada, no s'embruneix.

Els tractaments amb calci milloren la fermesa de les fruites (per exemple, les pastanagues) fins i tot després d'un tractament prolongat a baixa temperatura. També es poden submergir les fruites en una emulsió d'oli tensioactiu, que elimina la capa cerúlia i redueix el temps d'assecat a la meitat.

L'additiu químic més usual, del qual se sap que ja s'usava al segle XVII com a conservant, és el diòxid de sofre. Es tracta d'un efectiu antisèptic que, a més a més, és un agent contra l'embruniment i un poderós antioxidant. El seu ús és corrent en tota la indústria alimentària i vinícola, però és en els productes dessecats on la llei en permet unes majors concentracions.

Hi ha diverses tècniques d'addició. Una d'elles és l'ensofrat, consistent a tancar les fruites durant el procés d'assecat dins d'una atmosfera en la qual s'ha cremat sofre. També hi ha tècniques més complicades, com ara la immersió ràpida de raïm dins d'una solució de sosa al 15 % a 100 °C, neteja amb aigua a 25 °C, immersió en àcid cítric al 0,3 % durant 3 min i una posterior immersió durant 10 min en hidrogen sulfit de potassi al 4 %. Aquest seguit de processos semblen afavorir l'assecat i prevenir l'embruniment (fig. 6).

L'embruniment

L'assecat de les fruites retarda els processos de degradació però no els inhibeix per complet. Entre aquests processos de caràcter oxidatiu, un dels més indesitjats és l'embruniment, no tant per una disminució del valor nutritiu, malgrat que pugui indicar un procés degradador més profund, sinó per l'aspecte exterior desagradable. Aquest consisteix en el fet que el color de la fruita esdevé obscur.

L'embruniment es pot observar de manera ràpida xapant una poma; així, es pot observar com el color de la carn de la fruita va prenent un color bru. Aquest fenomen és conseqüència de diverses reaccions químiques que produeixen subproductes de colors diversos, però que, en conjunt, fan la sensació d'un color marronós.

Simplificant, es pot dir que existeixen dues classes d'embruniment: l'enzimàtic i el no enzimàtic. En el cas dels fruits deshidratats, a causa del baix contingut d'aigua, és més important el segon. No sembla oportú de discutir detingudament aquestes reaccions i la seva cinètica, de manera que només se'n farà una breu descripció, però, en qualsevol cas, l'embruniment serà més intens quan la temperatura d'emmagatzematge sigui major.

L'embruniment enzimàtic es deu a la hidroxilació dels compostos fenòlics incoloros per l'acció d'enzims com la polifenoloxidasa en presència d'oxigen atmosfèric. Primer es formen difenols i després s'oxiden per donar quinones d'un color bru vermellós. Aquestes poden seguir reaccionant amb altres compostos presents a la fruita produint nombroses substàncies, moltes d'elles d'estructura poc determinada i d'ample espectre cromàtic.

També hi influeix el pH, tot estant entre 5 i 7 l'òptim per a la polifenoloxidasa.

Aquests processos es poden prevenir mitjançant diversos mètodes, com és ara el tractament tèrmic, que modifica l'estructura i la cinètica d'actuació de l'enzim i també els metabisulfits, que reaccionen amb les quinones produïdes i també s'uneixen irreversiblement als enzims, tot desactivant-los. És útil afegir àcids i envasar les fruites en atmosferes sense oxigen.

L'embruniment no enzimàtic és conseqüència de diverses reaccions, tal com es detalla a continuació:

a) Reaccions de condensació aiminocarboníliques⁴ (reaccions de Maillard): requereixen la presència de compostos nitrogenats, com seria el cas d'amines, aminoàcids, pèptids o proteïnes, poc abundants a les fruites i que reaccionarien amb els sucres reductors.

b) Reaccions de caramelització: tenen lloc en escalfar els glúcids (fig. 7) i produeixen compostos no nitrogenats, però, a banda d'això, són molt semblants a les reaccions de Maillard.

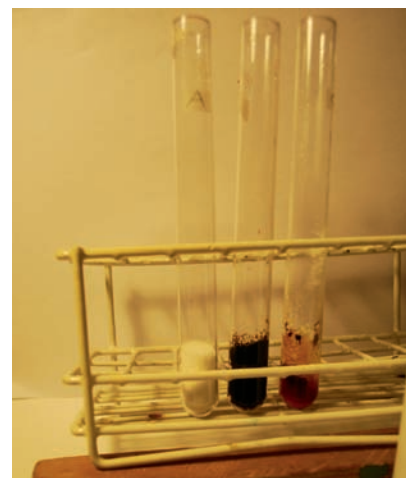


Figura 7. Caramelització del sucre. Es pot observar la diferència entre la deshidratació produïda per l'àcid sulfúric i la caramelització suau.

4. Es pot ampliar amb Miranda (2004).



Figura 8. Figues i albercocs secs. A conseqüència d'un possible mal envasament, han estat atacats per floridures.

Després de l'assecat: degradació postassecat

L'assecat pretén perllongar la conservació del producte en òptimes condicions conservant al màxim les seves propietats, el color inclòs. Es tracta, doncs, de prevenir aquells efectes que poden degradar el producte i també la contaminació bacteriana. El factor més important és l'activitat de l'aigua, que es defineix com la relació que hi ha entre la pressió de vapor de l'aigua del producte i la pressió de vapor de l'aigua en una atmosfera saturada d'humitat. Els efectes no són tan sols que es pugui produir un dessecament excessiu o, al contrari, un augment indesitjable de la humitat que pugui facilitar l'acció bacteriana o fúngica (fig. 8), sinó que també es poden perdre de manera irreversible les condicions de textura, de gust, etc.

Quan l'activitat de l'aigua supera el valor de 0,9 (aproximadament, un 30 % d'humitat), hi ha creixement microbià. S'admet que a 0,9 creixen els bacteris; a 0,88, els llevats, i a 0,80, la floridura. A valors menors de 0,70 (una humitat del 20 %), el creixement microbià sembla inhibit.

A més a més, moltes de les reaccions anteriorment descrites

depenen fortament de l'activitat de l'aigua; per tant, mantenir-la baixa és important.

Altres factors a considerar

El pH del producte és un factor a tenir en compte, però és poc important pel que fa a l'activitat de l'aigua. El pH després de l'assecat no sol variar gaire, però és important per al sabor i la textura de la fruita i la pressió parcial de l'oxigen. També pot tenir certa importància l'acció de la llum, especialment la solar, i la temperatura a la qual es guarda la fruita. La temperatura influeix en la pèrdua o el guany d'aigua i en la cinètica de les reaccions responsables del deteriorament del producte, i també pot influir en llur estructura, ja que les transicions de segon ordre,⁵ com el pas de vítria a gomosa, poden determinar l'estructura. Fins i tot sembla que moltes reaccions enzimàtiques estan influïdes per l'estat dels reactius. Això es deu al fet que la seva mobilitat depèn de les característiques del medi. Tot plegat aconsella conservar les fruites a temperatures no molt altes, encara que per damunt de la de transició vítria.⁶

Envasament

Tenint en compte el que s'ha dit, es pot deduir que són molt importants les condicions d'embalatge i emmagatzemament, sobretot l'envasament, que protegeix el producte d'agents exteriors, com la pols, els bacteris i altres contaminants, alhora que evita la pèrdua d'humitat i d'agents inhibidors, com el SO_2 .

Fins no fa gaire, aquest era un aspecte que no es tenia gaire en compte i els fruits secs s'emmagatzemaven en caixons de fusta protegits per paper d'estrassa,

amb l'única precaució de guardarlos en un lloc fresc i protegits de la llum directa del sol. Avui sabem que el factor que primordialment s'ha de controlar és l'activitat de l'aigua. Amb aquest objectiu, els envasos més barats i lleugers són els plàstics, però els plàstics laminats o en pel·lícula rarament són completament impermeables.

També cal vigilar que els materials d'envasament no interactuin amb l'atmosfera interior de l'envàs ni li comuniquin al producte olors o gustos desagradables.

En principi, el vidre és el material més adequat per a l'envasament i permet processos severos d'esterilització, però és feixuc, fràgil i relativament car. A més, presenta problemes de reciclatge.

En qualsevol cas, el material d'envasament més comú són els plàstics, que se seleccionen d'acord amb el producte que continuaran i el temps que s'espera mantenir-lo a dins. Tant per a les fruites com per a altres productes, es poden investigar la capacitat d'absorció i comunicació d'aromes, etc., en plàstics monocapa de porositat i gruix controlats.

Aplicacions didàctiques

Algunes de les experiències que a continuació es proposen presenten certes dificultats per ser realitzades al centre d'ensenyament, sigui per la necessitat d'un forn amb termòstat, sigui perquè requereixen un temps relativament perllongat, però pot ser molt interessant de realitzar un petit treball d'investigació fent aquestes experiències a casa:

a) Verificació de l'osmosi (Martínez Pons, 2009). Es prendrà una quantitat mesurada de fruita i es mesclarà amb una quantitat aproximadament del 75 % de sucre (sacarosa). Es deixarà reposar

5. Cal recordar que una transició de fase de primer ordre, com el pas de sòlid a líquid, implica una elevada calor latent i té lloc a una temperatura determinada; en canvi, les transicions de segon ordre no impliquen calor latent i no estan molt ben definides, però impliquen un canvi significatiu a l'estructura.

6. Per ampliar aquestes idees aplicades als albercocs, es recomana consultar Miranda (2004).

Taula 3. Resultats de l'experimentació de l'assecat de fruites

Mostra	Massa/g	Superfície/cm ²	Recta de regressió	Coefficient (R ²)	W · 10 ⁴ /g min ⁻¹ cm ⁻²	
A	12,64	50,12	m = -0,342 · t + 12,574	0,9962	6,68	1,37
B	14,29	54,39	m = -0,037 · t + 14,176	0,9965	6,70	1,46
C	16,69	56,30	m = -0,0395 · t + 16,759	0,9970	6,81	1,50
M	58,85	63,62	m = -0,014 · t + 58,961	0,9979	2,31	1,00

unes 12 h. Es cola i pesa la fruita per determinar l'aigua perduda.

b) Comprovació de l'embruniment. Es tindrà preparada una mica d'aigua bullint i es xaparà una poma: una meitat s'escaldarà a l'aigua durant 1 min; de l'altra meitat, una part es pintarà amb suc de llimona o amb una solució d'àcid cítric. Al cap d'uns 15 o 20 min, es mirarà què ha passat.

c) Caramel·lització.⁷ Es tracta de veure el procés de caramel·lització com a forma d'embruniment. Per fer-ho, caldrà una mica de sucre, sacarosa, una petita pella i una mica d'aigua. S'abocarà el sucre dins la pella amb unes gotes d'aigua i s'escalfarà. Es pot anar observant de quina manera el sucre primer es fon i llavors es comença a «tornar ros», fins a agafar un color bru. Després, es deixarà refredar i es tastarà, tot advertint un gust lleugerament amarg. Es pot comparar amb la deshidratació violenta que té lloc posant una mica de sucre dins un tub d'assaig i afegint una mica d'àcid sulfúric, que condueix ràpidament a la carbonització del sucre.

d) Assecat pròpiament dit. Es partirà d'alguna fruita amb poca aigua natural: poma, plàtan, figa, albercoc, melicotó, etc. Es tallarà de manera regular o es deixarà la fruita sencera. Si es fa com a treball de classe, es pot distribuir la feina entre diversos grups i cada un que realitzi alguna variant de l'experiment, com ara escaldar la fruita, netejar-la amb aigua i

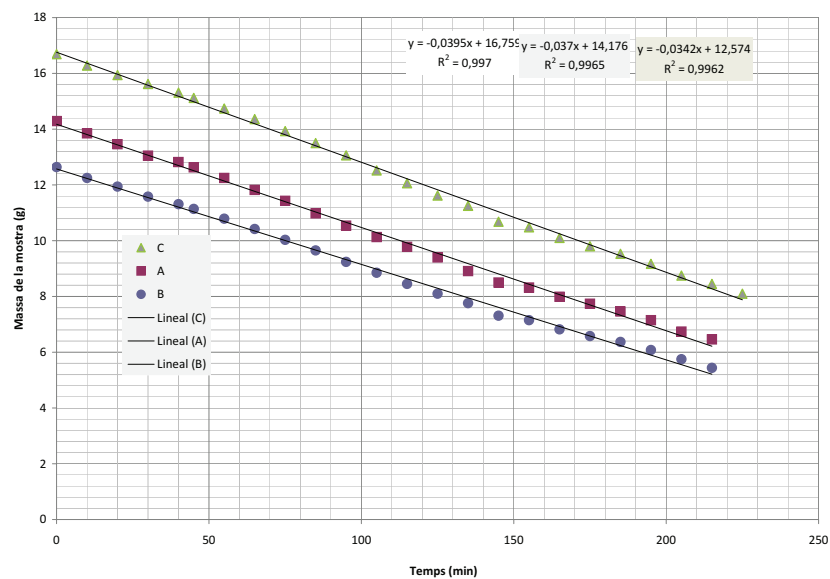


Figura 9. Evaporació en la carabassa.

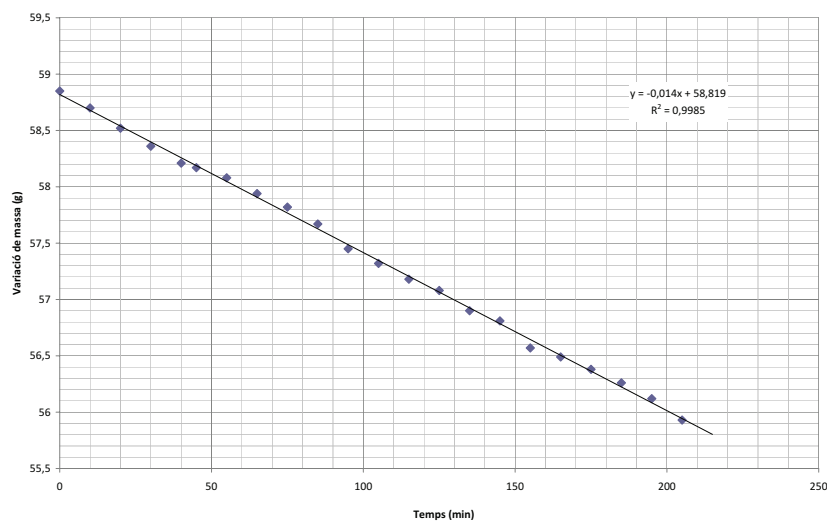


Figura 10. Evaporació en la mandarina.

detergent, modificar la temperatura de treball, etc. Cal disposar d'un forn (si pot ser, amb termòstat i turbina). Es posarà el forn a la temperatura desitjada (per exemple, 50 °C). Es pot verificar la temperatura amb un termòmetre i llavors s'hi introdueixen les

mostres, que s'aniran pesant a intervals regulars (per exemple, cada 15 min). Es fa una primera representació de la massa enfront de la temperatura. Es pot aproximar el fet que la massa perduda és aigua. Sobre la gràfica, es pot calcular la velocitat d'assecat tra-

7. A pesar de tractar-se d'un text molt antic, és recomanable Thorpe (1925).

çant les tangents i mesurant el pendent, que representarà la velocitat d'assecat. Es farà la gràfica de la velocitat enfront de la temperatura. Això també es pot fer mitjançant càlcul numèric, però cal tenir en compte que en ambdós casos aquest tipus de càlculs estan afectats de molt error.

e) Amb alumnes avançats, es podria arribar a calcular el paràmetre U mesurant la temperatura interna amb un termòmetre de cuina i la temperatura d'interfície mesurant la superfície de la fruita. Sobre la gràfica, caldrà trobar les condicions crítiques; a vegades, això no és possible, si no passen unes quantes hores.

f) Assecat per osmosi. El procés consisteix a submergir fruita dins successives solucions de sucre progressivament més concentrades. S'escalfarà fins a ebullició suau (es pot fer amb un microones, 1 min cada vegada) i es deixarà reposar unes 24 h. Si són fruites blanques, convé fer-ne un tractament previ en una dissolució al 25 % d'hidròxid de calci. Es podrà observar com la carn de la fruita es torna més ferma (Martínez Pons, 2009). En aquests casos, es produeix deshidratació, però la fruita també absorbeix sucre; són les fruites confitades.

Exemple d'experiment d'assecat de les fruites

L'estudi experimental s'ha fet amb tres mostres (A, B i C) de carabassa pelades i tallades en forma regular i una mandarina (M) sense cap tractament previ. S'han assecat dins un forn elèctric amb turbina d'aire i termòstat regulat a 50 °C, equivalent a un reactor de tipus A (fig. 2a).

Es van anar pesant les mostres cada 10 min.

Representant la massa enfront del temps, s'obtenen les gràfiques que es mostren a les fig. 9 i 10. Es veu en ambdues gràfiques que s'està a la zona anterior al punt

crític descrit més amunt. També es veu que hi ha una relació lineal i, fent la corresponent anàlisi de regressió (es pot fer de forma més simple amb regla i llapis), s'obtenen els resultats expressats a la taula 3. Per aplicació de la fórmula de la pàgina 15 modificada, s'obté la velocitat d'assecat per unitat de superfície (W). El càlcul de dm/dt s'ha fet amb el full de càlcul i després s'ha aplicat la fórmula i s'ha fet la mitjana. La darrera columna de la taula és la desviació típica multiplicada per 10^4 . Es pot observar que, malgrat la simplicitat del procés, els resultats són molt acceptables.

Cal observar que la superfície exposada (sobretot a la carabassa) disminueix, fet que pot afectar els resultats.

Conclusió

El coneixement elemental de l'assecat de les fruites i de la teoria sobre la qual es fonamenten les diverses tècniques que s'empren pot ser una bona introducció a la indústria química i pot fer de fil conductor de diversos treballs de petita investigació i de revisió i mesura directa d'interessants magnituds físiques i químiques, així com de mitjà per explicar alguns conceptes fisicoquímics.

Referències bibliogràfiques

- ALZAMORA, S. M.; CHIRIFE, J.; VOILLAZ, P. (1979). «A simplified model for predicting the temperatures of foods during air dehydration». *J. Fd. Technol.*, 14: 369-380.
- CALLEJA PARDO, G. [et al.] (1999). *Introducción a la ingeniería química*. Madrid: Síntesis.
- CONTRERAS, C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. Tesis doctoral. València: Universitat Politècnica de València.
- COSTA LÓPEZ, J. [et al.] (1994). *Curso de ingeniería química: Introduc-*

ción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte en la ingeniería química. Barcelona: Reverté.

COSTA NOVELLA, E. [et al.] (1983). *Ingeniería química*. Madrid: Alhambra.

MARTÍNEZ PONS, J. A. (2009). «La preparación de la mermelada como recurso didáctico». *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 105(1): 221-226.

MARTÍNEZ PONS, J. A.; ÁLVAREZ RABANAL, Á. (2005). «Fisicoquímica del secado de las frutas». *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 200: 97-104.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C. (1981). *Operaciones básicas en ingeniería química*. Vol. II. Barcelona: Reverté.

MIRANDA, G. (2004). *Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas, pasas y albaricoques deshidratados*. Tesis doctoral. València: Universitat de València.

OCÓN GARCÍA, J.; TOJO BARREIRO, G. (1980). *Problemas de ingeniería química*. Madrid: Aguilar.

THORPE, E. (1925). *Enciclopedia de la química industrial*. Vol. I, II i V. Barcelona: Labor.



José Antonio Martínez Pons

És catedràtic de física i química jubilat de l'IES Las Lagunas (Rivas Vaciamadrid). Llicenciat en ciències físiques per la Universitat Complutense de Madrid i doctor en químiques per la Universitat d'Alcalà, ha estat professor associat a les universitats d'Alcalà, la Politècnica i la Nebrissensis. El seus camps d'interès són la química i la física dels aliments i la utilització de recursos informàtics en l'ensenyament i la divulgació.

E-mail: jamartinezpons@ono.com.