



Govern de les Illes Balears

Conselleria d'Agricultura i Pesca

3

Quaderns d'Investigació

Estudi sobre la viabilitat d'utilitzar els excedents i residus agrícoles del camp mallorquí com a fibra dietètica

**Coordinació:
Carme Rosselló Matas**



**Estudi sobre la viabilitat
d'utilitzar els excedents i residus
agrícoles del camp mallorquí
com a fibra dietètica**

Autors:

Carme Rosselló Matas
Antoni Femenia Marroig
Susana Simal Florindo
Carme Garau Taberner



Govern de les Illes Balears
Conselleria d'Agricultura i Pesca

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	9
1. Antecedents	9
1.1. La taronja a les Illes Balears	10
1.2. Descripció de la taronja <i>canoneta</i>	10
1.3. El mercat dels productes funcionals	11
2. Deshidratació d'aliments	13
2.1. El procés d'assecat	15
2.2. La cinètica d'assecat	16
2.2.1. <i>Períodes d'assecat</i>	16
2.2.2. <i>Factors que afecten a la deshidratació</i>	17
2.3. La isoterma d'equilibri	19
2.3.1. <i>Factors que afecten a l'activitat de l'aigua</i>	21
2.4. Modelització	22
2.4.1. <i>Modelització de les corbes d'assecat</i>	23
2.5. La contracció de volum durant l'assecat	25
3. La qualitat dels productes deshidratats	27
3.1. El color en els aliments	27
3.2. La fibra alimentària	28
3.2.1. <i>Aplicació tecnològica</i>	29
3.2.2. <i>Aspectes químics</i>	30
3.2.3. <i>Aspectes fisicoquímics</i>	30
3.2.4. <i>Efectes de la fibra alimentària dins l'organisme</i>	31
OBJECTIUS	33
MATÈRIA PRIMERA I METODOLOGIA	34
1. Matèria primera	34
2. Instal·lació experimental	35
2.1. Deshidratador a escala laboratori	35
2.2. Liofilitzador	37
3. Disseny experimental	37
3.1. Experiments de deshidratació	38
3.1.1. <i>Geometria i grandària</i>	38
3.1.2. <i>Temperatura d'assecat</i>	39
3.1.3. <i>Contracció de volum</i>	39
3.1.4. <i>Isotermes d'equilibri</i>	40
3.2. Modelització del procés difusiu	41

EDITA:
Conselleria d'Agricultura i Pesca

IMPRIMEIX: Gràfiques Rubines

Dipòsit Legal: PM 490-2007

ISBN: 978-84-606-4180-3

4. Tècniques experimentals	42
4.1. Determinació experimental de les corbes d'assecat	42
4.2. Anàlisi fisicoquímica i morfològica	43
4.2.1. <i>Característiques morfològiques</i>	43
4.2.2. <i>Humitat</i>	43
4.2.3. <i>pH</i>	43
4.2.4. <i>Sòlids solubles</i>	43
4.2.5. <i>Activitat d'aigua</i>	44
4.2.6. <i>Variació de volum amb la humitat</i>	44
4.2.7. <i>Color</i>	44
4.2.8. <i>Contingut en fibra alimentària</i>	45
4.2.9. <i>Propietats funcionals de la fibra</i>	45
RESULTATS I DISCUSSIÓ	47
1. Caracterització de la matèria primera	47
2. Isotermes d'equilibri	49
3. Contracció de volum	51
4. Assecat de pell de taronja	53
5. Influència de la temperatura d'assecat	54
6. Modelització	56
6.1. Model I: sense contracció de volum	58
6.2. Model II: amb contracció de volum	62
6.3. Model III: amb contracció de volum i $D_{\text{eff}}=f(W_p)$	65
7. El color com a paràmetre de qualitat	70
8. Fibra alimentària	72
8.1. Contingut en fibra	72
8.2. Propietats funcionals	74
8.2.1. <i>Propietats d'hidratació de la fibra</i>	76
a) Inflament	
b) Capacitat de retenció d'aigua	
8.2.2. <i>Propietat relacionades amb l'absorció de molècules orgàniques</i>	79
a) Capacitat de retenció de lípids	
8.3. El color de les preparacions de fibra	80
8.4. Incorporació de concentrats de fibra en diferents productes alimentaris	82
8.4.1. <i>Fases líquides: el iogurt</i>	82
8.4.2. <i>Fases sòlides: l'hamburguesa</i>	82
CONCLUSIONS	83
PUBLICACIONS CIENTÍFIQUES GENERADES	85
BIBLIOGRAFIA	86

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair el suport econòmic de la Conselleria d'Agricultura i Pesca, així com l'ajut de la Cooperativa de Sóller.

També volen agrair molt especialment el suport rebut per part dels senyors Joan Rallo i Andreu Juan, ambdós de la Conselleria d'Agricultura i Pesca, per la seva tasca d'assessorament tècnic i pels suggeriments rebuts, que han contribuït, sens dubte, a la millora d'aquesta obra.

MOTIVACIÓ

El desenvolupament econòmic de les Illes Balears durant les darreres dècades s'ha fonamentat en el sector terciari, el qual ha determinat l'encariment del preu de la terra i de la mà d'obra. Aquest i altres factors han influït de manera molt important sobre la competitivitat de l'agricultura, de la ramaderia i de la pesca. Davant aquesta conjuntura el sector primari ha respost amb valentia mantenint els productes tradicionals de les Illes i adaptant les seves produccions a les noves demandes del consumidor.

El cultiu de la taronja, l'ametlla, l'albercoc i la patata es troben fortament arrelats a la història i tradició de les Illes Balears. L'explotació i comercialització d'aquests productes produeixen una quantitat considerable de residus/subproductes en forma de pells, pinyols, fulles, productes rebutjats, o en alguns casos excedents que són eliminats.

Actualment, a les Illes Balears no es disposa d'un pla específic per a la gestió i tractament dels residus agroalimentaris, encara que els avanços en la temàtica de la reducció i reciclatge dels residus feta durant els darrers anys per diferents institucions és força important. A més, la Llei de salut i control d'aliments de les Illes Balears (BOE num. 110, de 8 de maig de 2003) vol promoure la millora del tractament de residus des d'un punt de vista de la protecció de la salut alimentària i, també, de la salut ambiental.

Què es pot fer amb els "excedents" i residus generats pel sector agrícola? En els darrers anys, centenars de tones de cítrics i hortalisses han estat retirades del mercat i eliminades mitjançant la incineració, per donar pas als productes forans. És aquesta la solució adient i més beneficiosa per a tots? Donada la problemàtica que representa per a la nostra comunitat la pèrdua de tal quantitat de fruites i hortalisses, sense cap tipus de benefici aparent, és necessari plantejar-nos quina podria ser la nostra aportació per tal d'evitar la destrucció infructuosa i sistemàtica d'aquests produc-

tes i proposar noves idees que permetin fer-ne un ús més racional i rentable per a tots.

La proposta que es presenta en aquest treball pot oferir una solució al problema dels excedents agrícoles del camp mallorquí.

Aquest treball es basa en l'ús de taronja *canoneta*, varietat autòctona de l'illa de Mallorca, com a matèria primera però també podria dur-se a terme amb qualsevol fruita o hortalissa que es considerés d'interès per a la comunitat.

INTRODUCCIÓ

1. Antecedents

La situació agrícola i ramadera de les Illes Balears està sofrint les conseqüències d'esdeveniments que han implicat forts impactes sobre l'agricultura i ramaderia. El canvi del model territorial i econòmic produït per la irrupció del turisme de masses, va incidir en la crisi del model de productivitat agrícola. D'altra banda, l'acceleració del procés de mecanització del camp i la progressiva substitució del sistema parcel·lari per l'arrendament i la dedicació a productes adaptats a la demanda urbana i turística, va implicar la disminució de les terres cultivades, especialment de les terres de secà. La integració espanyola a la UE en 1986, va representar un nou impacte per a les activitats agràries, ja molt afectades anteriorment pel desenvolupament turístic balear (Salvà-Tomás, 2003).

La problemàtica actual del sector hortofructícola a les Illes Balears, en concret de la taronja de Mallorca es troba afectat per una sèrie de factors (Lucas, 2002):

- Els excedents de producció i la impossibilitat de competir enfront al mercat mundial. La globalització del mercat dona primer pas al producte de fora, deixant al darrere el producte local, molt menys competitiu però, no per això, d'inferior qualitat. Aquests darrers anys, a les Illes Balears, grans quantitats de cítrics i altres productes vegetals han estat retirats del mercat i destruïts per evitar la devaluació dels preus.
- La baixada general del consum de fruites i hortalisses fresques, degut principalment als canvis en els estils de vida i en els hàbits d'alimentació.

Per trobar solució a aquests problemes apareixen diferents iniciatives, tant des del sector privat com per part de l'administració pública. Per exemple, l'any 2001 una empresa balear va comercialitzar part dels excedents de taronja en forma de suc pasteuritzat. Una altra possibilitat que s'està desenvolupant és la de distingir el producte autonòmic, oferint al consumidor la possibilitat d'escollir entre el producte diferenciat autonòmic de la resta, remarcant-lo mitjançant un etiquetat de "Producte Balear". Actualment,

s'estan realitzant tota una sèrie d'esforços per a l'aprofitament de la taronja *canoneta* (varietat de taronja autòctona de Mallorca), oferint un producte diferenciat i de qualitat amb la marca de "Producte Balear".

L'any 2002, l'administració va concedir una ajuda a la Universitat de les Illes Balears per realitzar el present estudi que contempla la possibilitat d'emprar l'operació de deshidratació per al reaprofitament de residus i restes de rebuig de les indústries hortofructícoles, fruites i vegetals, per ésser incorporats com a fibra alimentària dins la formulació d'altres productes.

Dintre d'aquest marc, el present treball pretén avaluar i aprofundir en els coneixements necessaris per poder dur a terme l'aprofitament de la fibra de la pell de taronja com a font de fibra alimentària.

1.1. La taronja a les Illes Balears

La producció de taronja a l'Estat espanyol està ubicada principalment a tot el litoral mediterrani, especialment a València. A les Illes Balears, la superfície ocupada de tarongers se situa al voltant d'un 0.90% de plantacions de taronger respecte de la seva superfície geogràfica. Aquest valor indica que la superfície cultivada és, l'any 2005, de 1849 ha.

La producció de taronges aquest mateix any va ascendir a 12.189 tones respecte els 3.088 milers de tones que es produeixen en tot l'Estat (MAPA, 2003).

1.2. Descripció de la taronja *canoneta*

La *canoneta* és una varietat de taronja autòctona de l'illa de Mallorca. La taronja és el fruit sincàrpic procedent d'un ovari pluricarpel·lar del taronger, arbre de la família de les rutàcies, de capçada arrodonida, fulles agudes i unes flors blanques i oloroses.

La taronja *canoneta* es caracteritza per ésser de dimensions mitjanes, tenir la pell lleugerament rugosa, polpa amb alguns pinyols i una gran quantitat de suc. Té un lleuger sabor àcid. És molt apreciada per fer taronjades, amb un rendiment molt elevat i se n'obté un suc dens, gustós, amb un pic d'àcid molt agradable. A l'estiu és quan arriba al grau de maduresa òptim, malgrat que ja es trobi un parell de mesos abans en el mercat (Rosselló i col., 2003).

Des del punt de vista nutricional, les taronges són fruites cítriques riques en β -caroté i en vitamina C amb petites quantitats de vitamines del grup B i E. També són una font de minerals de calci, magnesi, fòsfor, potassi i d'aminoàcids, a més de contenir estiridina i pectines.



Figura 1. Taronges de la varietat *canoneta*.

1.3. El mercat dels productes funcionals

La vinculació dels aliments amb la salut és una relació que preocupa l'home, no només per raons òbvies de nutrició, sinó també per l'efecte que generen sobre el nostre cos. Els hàbits i les actituds del consumidor

d'avui en dia mostren un augment del consum de productes dietètics, enriquits, concentrats de nutrients... Les preocupacions de la societat actual per una dieta equilibrada per mantenir la salut i l'estètica ha obert les portes als anomenats aliments funcionals. Els aliments funcionals es diferencien dels aliments convencionals tan sols pel fet que contenen elements afegits que els fan especialment beneficiosos per a la salut.

Aquests tipus de productes causen un gran impacte a països com els Estats Units, i de fet es preveu per a aquests productes un mercat de milers de milions de dòlars, amb expectatives de creixement de futur.

La fibra alimentària i fibra dietètica és, sens dubte, l'estrella de la nutrició de les últimes dècades. La importància del consum de fibra dietètica i la seva relació amb la salut es troba, en l'actualitat, totalment acceptada.

Actualment, les possibilitats que ofereix l'alimentació funcional són àmplies. De fet, s'estan investigant productes que permetin reduir els nivells de colesterol, evitar el càncer de colon i d'estómac, disminuir la irrigació cardiovascular, evitar l'osteoporosi... L'aliment funcional suposa un camí per assolir l'ideal de mantenir la salut mitjançant un mètode senzill i plaent: menjar.

La indústria ha pres bona nota d'aquesta tendència i, cada vegada més, en els supermercats europeus comencen a proliferar productes enriquits amb fibra dietètica. Sovint, per incorporar aquests suplementes de fibra en els aliments són prèviament deshidratats de la seva font inicial i posteriorment incorporats al nou producte. És, per tant, important estudiar els efectes que pot ocasionar aquest tractament sobre l'estructura i la composició de la fibra dietètica (Bestard i col., 2001).

2. Deshidratació d'aliments

La deshidratació és una operació de transferència de matèria i energia, freqüent en moltes de les indústries de processat d'aliments i, probablement, és el mètode més antic de conservació de fruites i verdures (Cohen & Yang, 1995; Doymaz, 2003).

El contingut d'aigua d'un aliment és, en general, el factor determinant de la seva vida útil (Mohamed, 2001). L'aigua que conté pot influir sobre la seva estabilitat física, química i microbiològica; modificant la velocitat de les reaccions, afavorint el creixement microbià, actuant com a reactiu i dissolvent de substrats, modificant la viscositat i, per tant, la mobilitat dels reactius (Lewicki, 2004).

La disponibilitat de l'aigua present en els teixits vegetals varia dins de la mateixa estructura, i es distingeix entre: aigua lliure, fracció d'aigua congelable, i aigua lligada, fracció d'aigua retinguda en un aliment que no pot ser congelada, aquesta correspon a l'aigua que està en equilibri amb la humitat de l'aire (McCabe, 1991).

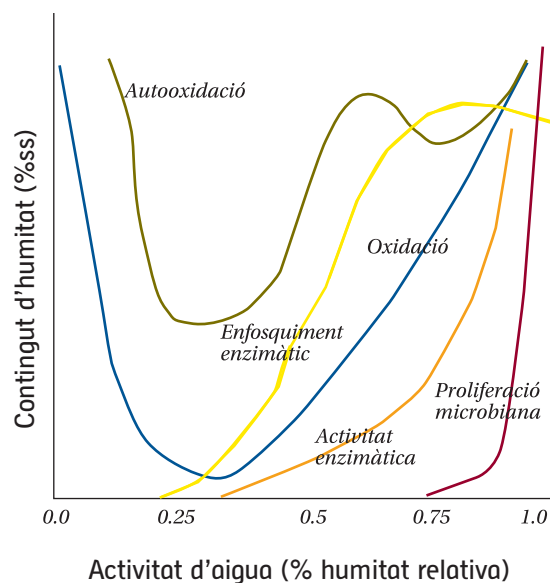
La major o menor estabilitat d'un aliment queda determinada per la proporció d'aigua lliure que presenta i no pel seu contingut d'humitat. Aquesta disponibilitat d'aigua està relacionada amb el que s'anomena activitat d'aigua, una propietat termodinàmica, que mesura l'estabilitat del producte (Rockland & Beuchat, 1987).

L'assecat de fruites i hortalisses mitjançant un corrent d'aire calent és un mètode industrial de conservació en que es veuen reduïts el contingut d'humitat i l'activitat d'aigua de fruites i hortalisses. El principal objectiu és la reducció de l'activitat d'aigua per tal d'allargar el període de conservació del producte (Doymaz, 2003). D'aquesta manera, es perllonga l'estabilitat del producte (figura 2) ja que l'activitat microbiana es troba limitada i es redueix la velocitat de les reaccions de degradació química i bioquímica (Doymaz & Pala, 2003).

El producte assecat també presenta l'avantatge de disminuir el pes i volum, la qual cosa implica una reducció en els costos de transport del pro-

ducte, facilita l'envàs i el seu emmagatzematge. A més, molts productes es deshidraten amb la finalitat d'obtenir un producte diferenciat valorat per les seves noves característiques organolèptiques després de l'assecat. En són exemple les panses, els albercocs, les figues, les prunes... (Simal i col., 1998).

Un aspecte fonamental en l'operació d'assecat és la qualitat del producte final. Elevades temperatures i llargs temps de processat, sovint donen lloc a l'obtenció de productes de baixa qualitat (Cohen & Yang, 1995). Segons diversos autors, les característiques del producte es poden veure afectades; la distribució de les partícules, la fluïdesa, la porositat, el volum de les partícules, la capacitat de rehidratació, les propietats funcionals i altres aspectes sensorials com el color, l'aroma i la brillantor del producte. Per exemple, Simal i col. (2000) observaren una important modificació de les propietats funcionals, en concret en la capacitat de rehidratació d'Aloe Vera; Chua i col. (2001) observaren una important degradació del color en bananes. Vélic i col. (2003) assenyalen importants canvis en l'aroma, el color, els nutrients i la disminució de la capacitat d'hidratació en l'assecat de pomes.



Per tant, resulta imprescindible estudiar la influència de les variables d'operació no només sobre la velocitat d'assecat sinó també sobre la qualitat del producte final.

Figura 2.
Activitat d'aigua

2.1. El procés d'assecat

El principi bàsic de l'operació de deshidratació consisteix en l'eliminació total o parcial del contingut en aigua del material en el qual està continguda (Treybal, 1980).

El sistema físic objecte d'estudi està constituït per dues fases: una fase sòlida, constituïda pel sòlid que es deshidrata, i una fase fluida constituïda pel medi que l'envolta. S'anomena interfase a la línia intermèdia entre les dues fases sòlida i fluida.

En el procés de deshidratació es manifesten els següents fenòmens de transport (McCabe i col., 1991):

- Transferència de calor des del gas fins al sòlid. S'evapora l'aigua superficial i s'escalfa el sòlid.
- Transferència de matèria des de l'interior del sòlid fins a la seva superfície, i des de la superfície del sòlid, en forma de vapor fins al gas.
- Transferència de quantitat de moviment a conseqüència dels gradients de velocitat que s'estableixen en circular l'aire al voltant de les partícules de sòlid.

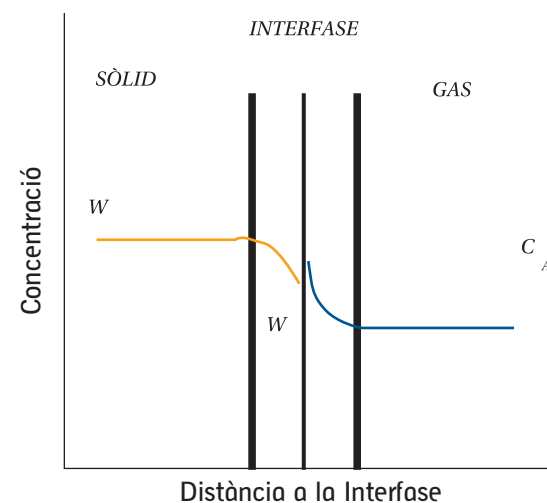


Figura 3.
Transferència de matèria entre fases.

Els factors que regeixen les velocitats d'aquests processos determinen la velocitat d'assecat. La transferència de quantitat de moviment està lligada a les característiques de la circulació de l'aire d'assecat, essent els altres dos fenòmens de transport, la transferència de calor i de matèria, els que es troben més íntimament relacionats amb la rapidesa en que té lloc el procés de deshidratació.

2.2. La cinètica de l'assecat

La cinètica d'un procés d'assecat relaciona la variació del contingut d'humitat d'un material durant el temps d'assecat. S'anomena corba d'assecat a la representació en coordenades cartesianes del contingut d'humitat del material sòlid en funció del temps d'assecat. Per obtenir la velocitat d'assecat, només cal derivar la funció de la corba humitat-temps. La velocitat d'assecat representa la quantitat d'aigua eliminada del producte per unitat de temps i de massa de sòlid sec, al llarg del procés (Treybal, 1980).

2.2.1. Períodes d'assecat

Generalment, en una corba d'assecat poden diferenciar-se, en funció de la velocitat d'assecat tres períodes, amb diferents comportaments (McCabe i col., 1991):

- **Període d'inducció o de velocitat d'assecat creixent**
És el període notablement més curt que els altres que, en molts casos no es detecta. Durant aquest temps, el producte s'escalfa i s'adapta a les condicions d'operació.
- **Període de velocitat d'assecat constant**
Després del període preliminar d'inducció, el sòlid queda completament recobert per una pel·lícula contínua d'aigua. En aquestes circumstàncies, la velocitat amb que l'aigua arriba a la superfície és superior a la velocitat amb la que s'elimina de la superfície del sòlid.

La velocitat d'assecat equival a la velocitat de vaporització de l'aigua. Durant aquest període la resistència externa a la transferència de matèria controla el procés d'assecat.

A un determinat valor d'humitat, anomenat humitat crítica, la pel·lícula superficial d'aigua es veu reduïda i apareixen zones seques a la superfície (Treybal, 1980). El valor de la humitat crítica no és una propietat del material, depèn de la grandària de partícula i de les condicions de l'aire d'assecat.

- **Període de velocitat d'assecat decreixent**
Quan la superfície del sòlid arriba a la insaturació, comença el primer període de velocitat d'assecat decreixent. Durant aquest període, la velocitat d'assecat disminueix, essent controlada per la velocitat del moviment d'aigua en l'interior del sòlid.

En materials porosos, la transferència interna d'aigua pot tenir lloc en la fase sòlida, o en els buits del material. S'han proposat diferents mecanismes per a aquest transport de matèria entre els quals, s'ha de destacar el transport líquid o vapor per difusió i flux capil·lar (Waananen i col., 1993; Zoggas i col., 1994).

Més d'un mecanisme pot contribuir al transport total d'aigua, i fins i tot, aquestes contribucions poden variar durant el procés. En general, se sol considerar que la transferència de matèria durant aquest període es realitza per difusió.

2.2.2. Factors que afecten la deshidratació

El procés de deshidratació és una operació unitària que depèn de molts factors, en major o menor mesura. Per estudiar les cinètiques de deshidratació cal establir quins són els paràmetres que afecten a la velocitat de deshidratació.

- **Característiques de la matèria primera**
Les propietats internes de la matèria primera condicionen la velocitat d'assecat, ja que ofereix més o menys resistència al pas d'aigua per l'interior del sòlid. Per tant, els paràmetres propis de la matèria primera són, principalment, la naturalesa del material, la varietat o l'espècie, la seva composició química i la seva estructura, el contingut d'humitat inicial, la geometria i la grandària de la partícula.

- Velocitat de l'aire d'assecat

És una variable d'operació de considerable importància que pot determinar si la velocitat de deshidratació està controlada per la resistència a la transferència d'aigua interna o externa, o per ambdues.

A partir d'un determinat valor de la velocitat de l'aire, denominat velocitat crítica, un increment de la velocitat de l'aire d'assecat no proporciona assecats més ràpids. A partir d'aquest valor crític, la velocitat de l'aire deixa de controlar la velocitat d'assecat i de mostrar cap influència sobre les corbes d'assecat (McCabe, i col., 1991). En aquesta situació, el procés es troba controlat per la resistència interna a la transferència de matèria, és a dir, per la velocitat de transferència d'aigua, des de l'interior del sòlid fins a la seva superfície.

- Temperatura de l'aire d'assecat

La dependència de la temperatura en el procés de deshidratació d'aliments ha estat verificada per molts autors d'aquest camp (Zoggas, 1996). En particular, la difusivitat de la humitat en un producte depèn fortament de la temperatura (Marinos-Kouris & Maroulis, 1995).

A mesura que augmenta la temperatura de l'aire d'assecat, en general, també augmenta la velocitat d'assecat. Però, en alguns casos, a partir de certa temperatura d'assecat, es produeix una crosta a la superfície que dificulta la sortida d'aigua (Simal, 1995).

- Humitat de l'aire d'assecat

L'aire d'assecat no sol estar completament sec, sinó que conté aigua i posseeix una humitat relativa definida. La humitat relativa del medi afecta l'activitat d'aigua, i per tant, condiciona la humitat d'equilibri.

- Densitat de càrrega dins el deshidratador

En general, si s'augmenta la densitat de càrrega dins l'aparell deshidratador, la velocitat de deshidratació disminueix.

2.3. La isoterma d'equilibri

La humitat d'equilibri d'un sòlid higroscòpic es defineix com el contingut d'humitat que té aquest sòlid quan assolix l'equilibri amb l'aire que l'envolta.

L'activitat d'aigua d'un sòlid és la pressió de vapor exercida pel producte a la interfase respecte de la pressió de vapor que exerciria l'aigua pura a la temperatura del sòlid. L'aigua continguda en el sòlid exerceix una pressió de vapor a la interfase sòlid-gas que depèn de la naturalesa del sòlid, del contingut d'aigua i de la temperatura.

Cada aliment, a causa de les seves característiques pròpies, presenta una relació diferent entre el contingut i l'activitat d'aigua.

$$a_w = \frac{p}{p^0} \quad [1]$$

La isoterma d'equilibri d'un aliment representa la relació d'equilibri entre el contingut d'humitat de l'aliment i l'activitat d'aigua del producte considerat a unes determinades condicions de pressió i temperatura (Iglesias, 1982; Azzouz i col., 2002).

Se sol dir que les reaccions químiques s'acceleren a mesura que augmenta l'activitat d'aigua degut a la major mobilitat de la mateixa. Rockland i Beuchat (1986) assenyalen que la reacció d'oxidació és la més important en aquest conjunt de reaccions i indiquen que l'interval d'activitats d'aigua que minimitzen aquesta reacció situen la mínima oxidació en l'interval de 0.2 a 0.4. Cárcel (2003) apunta que valors d'activitat d'aigua per sota de 0.30, consideren, en general, que l'aigua és retinguda per punts polars de relativament elevada energia, formant la denominada monocapa. Per a valors d'activitat d'aigua entre 0.30 i 0.70, l'aigua es troba retinguda en gran mesura entorn a punts polars en forma de multicapa. Finalment, en valors per sobre de 0.7 existeix aigua en forma relativament lliure.

En els processos de deshidratació s'utilitzen les isoterms juntament amb les cinètiques d'assecat per a la determinació del punt d'equilibri del procés d'assecat al qual es vol arribar i també per estimar els requeriments d'energia (Rahman i col., 1998).

Existeixen una gran varietat de tècniques per determinar l'activitat d'aigua d'un aliment. Entre elles, un gran grup de metodologies basen la mesura de l'activitat d'aigua, en la determinació, directa o indirecta, de la pressió de vapor i/o de la humitat relativa de l'aire en equilibri amb l'aliment (Cárcel, 2003).

Modelització de les isoterms de sorció

A la literatura es proposen nombroses equacions matemàtiques que descriuen les isoterms de sorció d'aigua en diferents aliments. Cada un dels models que es proposen, empírics, semiempírics o teòrics intenten descriure la relació d'equilibri del contingut d'humitat en un tipus d'aliment i en un rang determinat d'activitat d'aigua (Park i col., 2002; Arlabosse i col., 2003; Soggi i col., 2003; Vázquez i col., 2001). Aquesta restricció es deu a diversos motius:

- Les isoterms de sorció representen les propietats higroscòpiques de nombrosos constituents i la depressió de l'activitat d'aigua és deguda a una combinació de molts factors, cada un dels quals pot ésser predominant en un rang determinat de l'activitat d'aigua.
- Els tractaments aplicats als aliments poden alterar les propietats de sorció dels seus constituents.
- En absorbir o desorbir aigua, els aliments experimenten canvis en les seves dimensions, estructura i constituents.

Les diferents equacions proposades per modelitzar les isoterms d'equilibri poden ésser models empírics com el model d'Oswin (1946) o bé, models basats en diferents teories que poden ser de capil·laritat, cinètiques o de potencial químic com els models de Halsey (1948), el model de BET (1938) i el model de GAB (1981).

Entre les equacions teòriques, podríem dir que els models més utilitzats són els models de BET i el de GAB. El model de BET proposat per Brunauer Emmett i Teller, segueix la següent expressió 2:

$$W_e = \frac{W_m \cdot C_B \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot [1 + (C_B - 1) \cdot a_w]} \quad [2]$$

El model de Guggenheim-Anderson-de Boer o model de GAB ve descrita per l'equació 3:

$$W_e = \frac{W_m \cdot C_g \cdot K_g \cdot a_w}{(1 - K_g \cdot a_w) \cdot [1 + (C_g - 1) \cdot K_g \cdot a_w]} \quad [3]$$

Pel que respecte al model presentat per Halsey, es presenta segons l'equació 4:

$$W_e = \left[\frac{-C_h}{Ln a_w} \right]^{\frac{1}{n_h}} \quad [4]$$

Finalment, el model d'Oswin és un model empíric i ve representat per l'equació 5.

$$W_e = K_o \cdot \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{n_o} \quad [5]$$

2.3.1 Factors que afecten a l'activitat d'aigua

La isoterma de sorció d'un aliment es pot veure afectada per diversos factors. Els més importants són la temperatura, la composició química i l'estructura cel·lular dels aliments (Sanjuan, 1998; Cárcel, 2003):

La temperatura

En general, a mesura que s'incrementa la temperatura de l'aliment l'activitat d'aigua augmenta per al mateix contingut en humitat. Per això, en la descripció d'una isoterma és necessari indicar la temperatura a la qual s'ha determinat, ja que isoterms d'un mateix producte obtingudes a diferents temperatures presenten comportaments diferents.

La composició

La forma en que l'aigua es troba dins d'un aliment ve condicionada per la composició d'aquest. Segons els compostos que constitueixen l'aliment, l'afinitat per les molècules d'aigua canvia. El contingut de soluts pot influir en la relació entre el contingut d'humitat i l'activitat d'aigua d'un aliment ja que n'és part de la composició, per això, si canvia la proporció de soluts enfront a la resta de compostos, canvia l'estat de l'aigua de l'aliment.

L'estructura

L'estructura d'un aliment pot presentar una forta influència en la seva capacitat de retenció d'aigua. En aquest punt, la porositat és molt important. L'operació de deshidratació afecta a l'estructura de l'aliment, i aquest canvi queda reflectit sobre l'activitat d'aigua.

2.4 Modelització

El desenvolupament d'un model capaç de simular un procés de deshidratació és converteix en una eina bàsica per aconseguir establir les millors condicions d'operació per dur a terme l'assecat d'un producte, millorar la qualitat del producte final i també optimitzar l'estratègia de control (Simal i col., 1998).

L'estudi i modelització del procés de deshidratació pot contribuir al coneixement del comportament del producte durant el procés, predir la cinètica d'assecat del producte i estimar les propietats que defineixen el mecanisme de transport: la conductivitat, la difusivitat, els coeficients de transferència de matèria i energia, etc. (Karathanos & Belessiotis, 1999).

2.4.1. Modelització de les corbes d'assecat

Existeixen nombrosos models a la bibliografia proposats per diferents autors per simular les corbes d'assecat d'aliments basant-se en la hipòtesi de que el mecanisme de transferència de matèria que predomina és de tipus difusiu.

a) Models empírics

Per a la modelització de les corbes d'assecat de vegetals, a la bibliografia s'han proposat una gran diversitat de models empírics. El model més simple, és l'anomenat model exponencial o model de Newton (equació 6). Aquest model d'acord amb la bibliografia sol proporcionar una simulació de la corba d'assecat que presenta la tendència de creuar-se amb les dades experimentals, predient valors inferiors d'humitat a temps curts i excessivament alts a temps llargs (Lahsasni i col., 2004; Doymaz i col., 2003; Iguaz i col., 2003; Panchariya i col., 2002; Senadera i col., 2003).

$$MR = \exp(-k_s \cdot t) \quad [6]$$

Per evitar les mancances del model simple (equació 6), nombrosos autors proposen l'ús del model de Page (1949) (equació 7), una modificació del primer mitjançant la incorporació d'un exponent "n" en el terme del temps (Sogi i col., 2003; Azzouz i col., 2002; Dandamrongrak i col., 2002).

$$MR = \exp(-k_s \cdot t^n) \quad [7]$$

Existeixen molts altres models, proposats per diferents autors, que són modificacions dels anteriors o models més complexes, com són el model exponencial de dos termes, desenvolupat per Glenn (1978); o bé, el model de Henderson & Pabis (1969); una modificació del model de Page, proposada per Overhults, Hamilton & Ross (1973), entre molts altres.

b) Models difusius

Els models difusius han estat àmpliament utilitzats per simular la transferència de matèria que té lloc durant un procés de deshidratació amb aire calent. Els resultats obtinguts mitjançant aquests models solen ésser molt adequats però la dificultat que presenten és la necessitat d'admetre simplificacions que facilitin la seva resolució.

En general, quan la transferència de matèria recau sobre la fase sòlida, la modelització del procés se sol realitzar en termes de la Llei de Fick, combinada amb el balanç microscòpic de matèria, assumint que el comportament del sòlid és isotrop respecte a la difusió de la espècie que es transfereix. Se sol considerar que és el fenomen difusiu el que predomina, suposant un coeficient de difusió efectiu.

L'expressió que s'obté per combinació d'aquestes dues, adopta la següent forma:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 W \quad [8]$$

En general, aquests estudis s'encaminen a la determinació del coeficient de difusió, admetent que aquest coeficient és un paràmetre efectiu, resultat de totes les contribucions al transport que poden aportar diferents mecanismes. Una vegada obtinguda la difusivitat efectiva, o bé, el model difusiu corresponent que possibilita l'obtenció d'aquest paràmetre, sovint es procedeix a simular les corbes d'assecat per comprovar la capacitat del model per reproduir els resultats experimentals utilitzats o no en l'ajust paramètric.

Freqüentment es considera que el coeficient de difusió és funció de la temperatura del sòlid. L'efecte de la temperatura sobre la difusivitat es pot descriure mitjançant l'expressió exponencial corresponent a l'equació d'Arrhenius (Zogzas i col., 1994, Li i col., 2002):

$$D = D_o \exp \left(\frac{-E_a}{RT_s} \right) \quad [9]$$

Existeixen altres models, en canvi, que proposen a més, la dependència d'aquest coeficient amb altres paràmetres, com la humitat mitja del sòlid o la humitat puntual. Zogzas i col. (1996) i Reyes i col. (2002) publicaren respectivament dues recopilacions de diferents models proposats a la bibliografia, en el quals la difusivitat depèn d'altres variables a més de la temperatura.

Zogzas i col. (1996); Simal i col. (1998); Reyes i col. (2003) proposen una expressió (equació 10) per modelitzar aquest procés, en que el coeficient de difusió depèn de la humitat puntual, corregida per una constant, C_s

$$D = D_o \exp \left(\frac{-E_a}{RT_s} + c_s W \right) \quad [10]$$

Azzouz i col. (2002) i Istadi & Sitompul (2002) proposen una altra expressió en que la difusivitat efectiva està influenciada pel contingut d'humitat del sòlid mig o puntual i per la temperatura, segons l'expressió:

$$D = D_o \exp \left(\frac{-E_a}{RT_s} - W(A \cdot T_s + B) \right) \quad [11]$$

2.5. La contracció de volum durant l'assecat

Un dels canvis físics més importants és la reducció de volum que sofreix el producte durant l'assecat. La pèrdua d'aigua i l'escalfament provoca un estrès a l'estructura cel·lular de l'aliment, modificant la seva forma i reduint les seves dimensions (Mayor & Sereno, 2003).

Molts autors han investigat sobre el fenomen de la contracció de volum durant la deshidratació. Madamba i col. (1994) estudiaren aquest fenomen en l'assecat d'alls, obtenint una important reducció del volum durant el procés. Ratti (1994) va obtenir també una reducció de volum en diferents productes: patates, pomes i pastanagues. Generalment, encara que no sempre, la contracció de volum està linealment relacionada amb el contingut d'humitat a les primeres etapes del procés (Ratti, 1994; Simal

i col., 1998). Tenir en compte aquest fenomen a l'hora de modelitzar és un bon camí per millorar la representació del procés i per ajustar la validesa de paràmetres com el coeficient de difusió.

Així, la variació del volum del sòlid amb la humitat mitja es pot expressar segons l'equació 12:

$$\frac{V}{V_0} = a_v + b_v W \quad [12]$$

3. La qualitat dels productes deshidratats

3.1. El color en els aliments

El color d'un aliment és, en general, un factor determinant de la seva acceptabilitat. Després del processat o la conservació d'un aliment, el producte pot experimentar canvis colorimètrics que poden ser més o menys acceptables pel consumidor.

Moltes vegades s'associen colors a sabors i aromes sense que existeixi necessàriament una relació causa-efecte, per exemple, el color rosat sovint es relaciona amb un sabor dolç, mentre que el color verd, s'associa a olors i sabors frescos i afruitats. Aquesta valoració subjectiva i inconscient sovint condiciona la valoració de les virtuts i els defectes d'un aliment.

La presència de colors alterats respecte a l'aliment fresc és el resultat de diferents reaccions fisicoquímiques que esdevenen durant la conservació o durant el processat d'aliments. Les reaccions que sovint tenen lloc són responsables del canvi de color, aquestes poden ésser reaccions d'enfosquiment enzimàtic i no enzimàtic, reaccions de Maillard, així com reaccions de caramel·lització.

Aquest aspecte és perfectament conegut a la indústria agroalimentària, i fins i tot, ha arribat a ésser abusiu, fins al punt que, productes amb una excel·lent aparença de color, després no responen a les expectatives de qualitat esperades (Callizo, 2001).

El color és, per tant, un atribut molt important de la qualitat, utilitzat en la majoria de les normes alimentàries. El color ve caracteritzat pels pigments naturals dels vegetals i pot ésser alterat per processos fisicoquímics, enzimàtics i microbiològics que en modifiquen les característiques dels mateixos en el període que transcorre fins al seu consum, depenent de diversos factors com el temps de post-recol·lecció, les condicions d'emmagatzemat, les condicions d'elaboració i de transport.

Per definir un color a l'espai s'utilitzen coordenades colorimètriques. Les coordenades del sistema CieLab*, són molt utilitzades en tecnologia d'aliments (Pérez-Margariño & González-Sanjósé, 2003). Aquest sistema,

descriu per Judd-Hunter, defineix l'espai de color com la representació geomètrica dels colors en l'espai i el sòlid de color com la part limitada de l'espai que conté la representació geomètrica dels colors d'unes característiques determinades.

L'espai de color CieLab* es genera representant les coordenades rectangulars:

- L^* : fa referència a la lluminositat, és un valor que indica la quantitat de llum que sembla emetre l'estímul. Expressat com a percentatge; el color negre està representat per $L^*=0$ i el blanc per $L^*=100$.
- a^* : fa referència als colors verd-vermell, valors positius s'acosten a cromacitats vermelles i negatius cap a major quantitat de color verd.
- b^* : fa referència als colors groc-blau, en aquest cas, els valors positius s'apropen a tonalitats de colors més grocs i els valors negatius cap a color més blaus.

Partint d'aquestes coordenades es poden expressar diferents paràmetres per a la comparació de mostres diferents:

- Croma

$$Croma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [13]$$

- Diferència de color o Delta

$$Delta = \sqrt{\left((L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2\right)} \quad [14]$$

3.2. La fibra alimentària

Des del punt de vista de la tecnologia d'aliments, la fibra alimentària és un component funcional que s'utilitza per millorar la textura i augmentar el volum reduint, alhora, el contingut energètic dels aliments.

La fibra està constituïda pels polisacàrids i la lignina de la paret cel·lular dels vegetals, compostos que es caracteritzen, en la seva major part, per no ésser hidrolitzats pels enzims digestius de l'home (Auffret i col., 1994).

La definició de la fibra alimentària no és exacte degut a tota una sèrie de consideracions (Redondo i col., 1996):

- La digestibilitat de les macromolècules (inclòs el midó) és variable, pot augmentar o disminuir en funció del tractament tèrmic aplicat a l'aliment, de la grandària de les partícules, del temps de trànsit per l'intestí prim, etc.
- Les substàncies no digeribles no són necessàriament no assimilables perquè alguns polisacàrids poden ésser degradats en el colon per acció bacteriana i transformar-se en àcids grassos de cadena curta que podran ésser absorbits i metabolitzats.
- Les propietats dels components de la fibra poden ésser molt diferents segons la seva organització dins la paret cel·lular, encara que en ésser separats tinguin la mateixa composició.

Els darrers anys, la importància de la incorporació de la fibra alimentària dins la dieta humana ha despertat l'interès de la societat moderna. La fibra està molt relacionada amb la salut humana perquè tal i com demostren diferents estudis (Redondo i col., 1996; Guillon i Champ, 2000; Ramulu i Rao, 2003) protegeix d'algunes malalties, sobretot les més habituals en el món occidental. Per aquest motiu, forma part dels anomenats aliments funcionals, caracteritzats per contenir algun element que els fa especialment beneficiosos per a la salut.

3.2.1. Aplicació tecnològica

La incorporació de concentrats de fibra, obtinguts del processat de subproductes vegetals, en diferents sistemes alimentaris és una possible solució per augmentar el consum de fibra dietètica en les zones o regions geogràfiques on aquest és clarament deficitari.

La incorporació de fibra dins els aliments, no tan sols millora la dieta del consumidor, sinó que, des del punt de vista tecnològic, pot oferir avantat-

ges per al productor, augmentant el rendiment tecnològic dels aliments preparats.

3.2.2. Aspectes químics

És molt complex caracteritzar la composició de la fibra ja que està constituïda per diverses parts vegetals però, fonamentalment, per la paret cel·lular i aquesta depèn del tipus de vegetal.

Es poden distingir dos tipus de fibres; la fibra soluble que té la capacitat de formar gels (gomes guar, aràbica i tragacanto, pectines i mucíl·lags) i la fibra insoluble que no forma gels (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina).

La major part de la fibra prové de les parets cel·lulars que presenten una arquitectura complexa composta per una xarxa de microfibrilles de cel·lulosa dins una matriu de polisacàrids no cel·lulòsics i glicoproteïnes. L'estructura química dels components de la paret difereix segons els grups taxonòmics i modifiquen de manera important les seves propietats fisicoquímiques (Zarra & Revilla, 1993).

Els sucres, junt amb la lignina composta per alcohols aromàtics polimeritzats, són les unitats químiques elementals de la fibra. Els més comuns són:

- Sucres neutres: glucosa, galactosa, xilosa, manosa, arabinosa, ramnosa i fucosa.
- Sucres àcids: principalment l'àcid galacturònic i en menor quantitat, el manurònic i el glucurònic.

3.2.3. Aspectes fisicoquímics

Les propietats fisicoquímiques estan molt relacionades amb el tipus de sucres que componen la fibra; del percentatge de cada un i de la relació de sucres neutres i sucres àcids que contengui la fibra. A més, el procés dels vegetals com la deshidratació, ocasiona canvis a noves formes en la seva composició i pot alterar les seves propietats funcionals originals. Per ésser acceptable, el producte ha de presentar les propietats fisicoquímiques adequades (Simal i col., 2000).

I. Propietats d'hidratació de la fibra

Les propietats d'hidratació de la fibra presenten un gran interès tant en el camp de nutrició i com en el de tecnologia d'aliments. En el present estudi, se centrarà principalment en dues propietats importants: l'inflament i la capacitat de retenció d'aigua.

a) Inflament

L'inflament és la quantitat de dissolvent (aigua destil·lada) que absorbeixen els polisacàrids en presència d'excés d'aquest.

b) Capacitat de retenció d'aigua

La capacitat de retenció d'aigua és la quantitat d'aigua que pot retenir la mostra de fibra després d'un procés de centrifugació.

En aquest cas, depèn de la grandària molecular ja que, a mesura que disminueix la grandària de la molècula, lliga menys aigua. La distribució en l'aliment i el pH són factors que també afecten la capacitat de retenció d'aigua, per això, variarà segons el tipus d'aliment (Guillon & Champ, 2000).

II. Propietats relacionades amb l'absorció de molècules orgàniques

a) Capacitat de retenció de lípids

La capacitat de retenció de greixos és la capacitat que presenta la fibra per absorbir els greixos, també després d'un procés de centrifugació.

La fibra modifica l'absorció dels greixos en l'intestí, afectant la digestió de les micelles de greix (bolletes compostes per greixos i àcids biliars), per això, pot afectar-se l'absorció normal del greix (Redondo i col., 1996).

3.2.4. Efectes de la fibra alimentària dins l'organisme

Està demostrat que la fibra alimentària influeix sobre varies accions fisiològiques que els aliments exerceixen en l'aparell digestiu. Té un efecte saciant i influeix en tota la funcionalitat intestinal. Moltes malalties estan

associades a la deficiència de fibra; malalties cardiovasculars, colesterol, diabetis, obesitat, diverticulosi, restrenyiment, càncer i pòlips de còlon... (Redondo i col., 1996; Abdul-Hamid & Luan, 2000; Guillon & Champ, 2000; Ramulu & Rao, 2003).

Les principals malalties en les quals la fibra influeix beneficiosament dins l'organisme són (Redondo i col., 1996):

- *Propietats laxants.* És una de les propietats més reconeguda pels consumidors. Ocasionalment ocasiona un augment de la massa fecal i redueix el temps de trànsit i la irritació de les parets intestinals. Ve associada, en general, a la fibra insoluble encara que la fibra soluble pot participar també en els efectes laxants.
- *Diverticulosi de còlon.* És una malaltia atribuïda també a la deficiència del consum de fibra, associada a la massa fecal.
- *Càncer de còlon.* No es coneix exactament l'acció de la fibra en la presentació d'aquesta malaltia. Es coneix que està relacionada en el temps de trànsit de la massa fecal, la hidratació i la fermentació d'aquesta.
- *Efectes hipocolesterolèmics.* Existeix una relació inversa entre la ingesta de fibra i l'índex de malalties cardiovasculars de poblacions occidentals. La fibra, en concret les gomes guar, aràbiga i de garroví, redueixen els nivells de colesterol en sang.
- *Efectes hipoglucèmics.* La fibra soluble redueix el nivell de sucre en sang.

Els concentrats de fibra dietètica de fruites ofereixen una qualitat millor que els concentrats derivats de cereals. Aquest fet es deu a diversos motius: porten associats components bioactius (flavonoids, carotenoids, àcid fòlic...); presenten una composició més equilibrada; millor relació fibra soluble/fibra insoluble; capacitat d'hidratació i d'absorció d'aigua més elevada; contingut d'àcid fític més alt i menor valor energètic.

OBJECTIUS

La proposta que presentem en aquest estudi creiem que pot ajudar a donar sortida als residus agrícoles del camp mallorquí. Aquest treball pot portar-se a terme amb qualsevol tipus de residu o excedent de fruites. Es fonamenta en l'ús de taronja *canoneta* com a matèria primera però també pot dur-se a terme amb qualsevol fruita i/o hortalisses que la Conselleria d'Agricultura i Pesca considerés d'interès per a la comunitat.

La proposta es basa en **estudiar la viabilitat d'utilitzar taronges (residus i/o excedents) com a matèria primera per elaborar suplementes de fibra dietètica**, amb el potencial d'ésser incorporats a diferents productes de la indústria alimentària.

Objectiu general: Determinar la viabilitat d'aprofitar els excedents i residus de taronja *canoneta* de Mallorca per a elaborar concentrats de fibra dietètica, i avaluar la potencial incorporació d'aquests concentrats dins de determinats aliments carnis.

Objectius concrets:

- Avaluació de les condicions de deshidratació (temperatura i humitat de l'aire) idònies sobre la base de criteris de qualitat.
- Caracterització fisicoquímica de la fibra dietètica que s'obté a partir de diferents fraccions de taronja *canoneta* (polpa i pell). Avaluació de la qualitat i propietats de la fibra obtinguda a partir de la pell de taronja.
- Preparació de concentrats mitjançant l'assecat per aire calent a escala pilot. Determinació dels efectes del processament sobre la fibra. Optimització del procés de deshidratació.
- Avaluació de les propietats funcionals (hidratació i retenció de molècules orgàniques) dels concentrats.
- Incorporació dels concentrats dins de la formulació d'aliments carnis i lactis (aliments funcionals). Avaluació física i sensorial de les noves formulacions.

MATÈRIA PRIMERA I METODOLOGIA

1. Matèria primera

Les taronges emprades per a realitzar aquest estudi varen ésser taronges de la varietat *canoneta*, varietat autòctona de Mallorca de la collita de l'any 2003. El subministrament d'aquestes taronges va ésser proveït per la Cooperativa de Sant Bartomeu de Sóller (Mallorca).

La *canoneta* és una varietat de taronja molt adequada per fer suc. També es va considerar el seu contingut en fibra, interessant per a la incorporació d'aquesta com a ingredient dins d'altres aliments.

Per a la preparació de les mostres, es va procedir seguint sempre la següent metodologia:

1. Les taronges es netejaren adequadament amb aigua.
2. Es xaparen per la meitat i es va extreure el suc de taronja amb un sucador tradicional. (*Figura 4*).
3. Separació de la polpa. (*Figura 5*).



Figura 4. Sucador de taronges

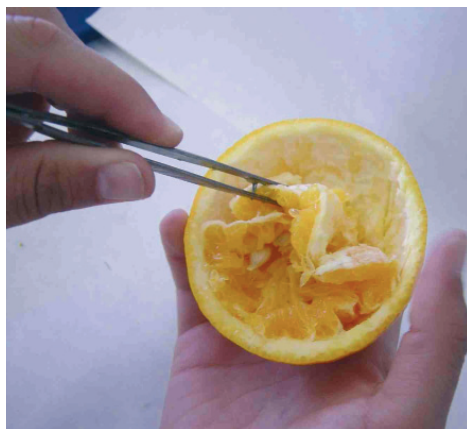


Figura 5. Separació de pell i polpa

4. Per tallar la pell s'utilitzaren motlles de diferent geometria i amb un extrem tallant. Les dimensions del forat de llum dels motlles foren, per les mostres quadrades de dues grandàries d' 1×10^{-2} i 4×10^{-2} m de costat i per les mostres circulars, de grandàries de 3×10^{-2} i 4×10^{-2} m de diàmetre.
5. Una vegada tallades, s'introdueixen dins bosses de plàstic per evitar la pèrdua d'aigua fins a ésser col·locades dins el deshidratador, durant un temps màxim de 2 h.



Figura 6. Peces quadrades de pell de taronja. Costat 1 cm.



Figura 7. Peces circulars de pell de taronja. Diàmetre 3 cm.

2. Instal·lació experimental

La instal·lació experimental va ésser dissenyada per obtenir cinètiques d'assecat de fruites i hortalisses.

2.1. Deshidratador a escala de laboratori

El deshidratador consta bàsicament de quatre elements principals:

- **Sistema de ventilació.** Compost bàsicament per un bufador de 0.5 CV que impulsa l'aire d'assecat a través del llit, perpendicularment al mateix.
- **Sistema de calefacció.** L'assecador consta de 4 resistències de 500 W en sèrie, regulades mitjançant un controlador automàtic de tempera-

tura HONEYWELL, connectat a un ordinador PC Pentium II mitjançant una sortida RS485.

- **Portamostres.** En la conducció de sortida d'aire es troba acoblada una canastreta metàl·lica amb una malla a la part inferior de 2×10^{-3} m de llum, on es col·loca la mostra. Es realitzen pesades per un sistema automatitzat d'adquisició de dades a través de una balança METTLER PM2000 connectada a l'ordinador PC Pentium II.

Amb l'objecte d'obtenir pesades estables de la forma més ràpida, cada vegada que es fa una pesada, una vàlvula pneumàtica desvia la sortida d'aire. D'aquesta manera es pretén interferir el mínim possible en el procés.

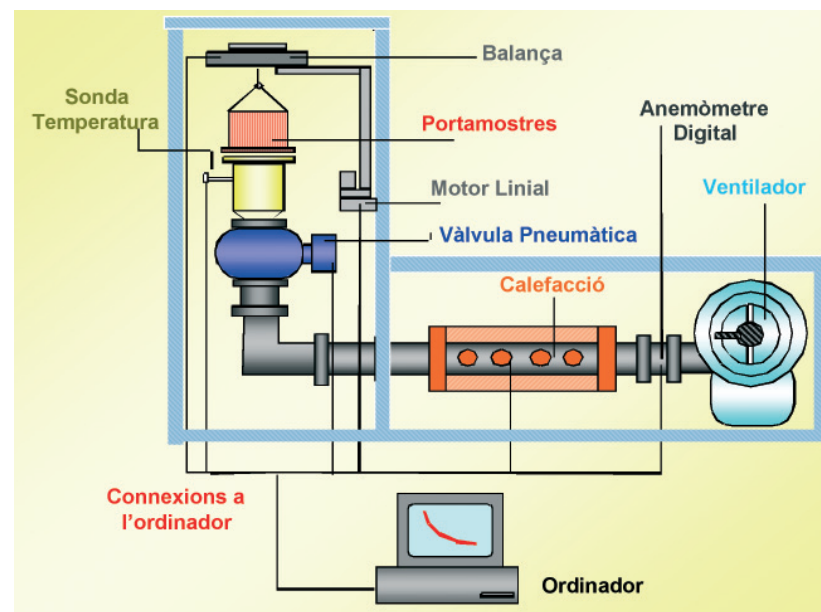


Figura 8. Deshidratador a escala de laboratori

En aquest estudi, s'ha treballat a una velocitat de l'aire d'assecat constant i amb una sola canastreta de diàmetre 14×10^{-2} m.

- **Control automatitzat.** El control de la temperatura i de la variació de pes de cada experiència es realitza de manera automàtica mitjançant un programa d'ordinador escrit en GW BASIC i instal·lat a l'ordinador. L'adquisició i emmagatzemat de les dades es controla també mitjançant el mateix programa.
- **Termohidrògraf:** Per a realitzar les mesures de temperatura i humitat relativa de l'aire ambient, es va disposar d'un termohidrògraf de la marca THIES capaç de realitzar mesures contínues de temperatura i humitat relativa en un rang de temperatures de 0-100°C i d'humitat relativa de 0-100% durant un període màxim de 24 h.

2.2. Liofilitzador

La liofilització de mostres de pell de taronja es va realitzar mitjançant un equip liofilitzador de laboratori, model CRYODOS (Telsar SA). Les mostres, prèviament a la seva liofilització, i una vegada seccionades en trossos varen ésser congelades en nitrogen líquid la qual cosa en permet una perfecta conservació, implicant qualsevol tipus de reacció degradativa.

3. Disseny experimental

S'exposa el disseny de les experiències realitzades amb pell de taronja, amb l'objectiu d'estudiar les corbes de deshidratació a diferents temperatures d'aire i diferents grandàries i geometries de partícula, identificar els paràmetres dels models proposats i avaluar la validesa dels models per a simular les corbes d'assecat de pell de taronja en diferents condicions d'operació.

En l'estudi del procés de deshidratació, els factors que s'avaluaran són la influència de la temperatura de l'aire d'assecat, la geometria i grandària de la partícula, la variació del volum del sòlid amb el seu contingut d'humitat i el canvi de color del producte assecat a diferents temperatures d'aire.

Pel que respecte a la qualitat de la fibra, s'avaluaran el canvi colorimètric i les propietats funcionals de la fibra en funció de les diferents temperatures d'aire d'assecat.

3.1. Experiments de deshidratació

En la següent taula es mostren les condicions a què es varen dur a terme les diferents experiències d'assecat.

Taula 1. <i>Condicions ambientals, de l'aire d'assecat i de la partícula durant les experiències d'assecat</i>	
Aire d'assecat	
Velocitat (m/s)	3
Condicions ambientals	
Temperatura (°C)	23.0 ± 2.4
Humitat relativa (%)	55.0 ± 2.4
Contingut d'humitat	
Inicial (kg aigua/ kg ss)	3.66 ± 1.81
Final (kg aigua/ kg ss)	0.25 ± 0.09

Cada cinètica d'assecat s'ha obtingut mitjançant almenys tres repeticions, és a dir, tres experiments d'assecat.

3.1.1. Geometria i grandària

Per avaluar la influència de la geometria i de la grandària de la partícula sobre les cinètiques d'assecat, es realitzaren tres experiències amb diferents geometries i grandàries a una temperatura d'aire d'assecat de 50°C.

Les característiques morfològiques de les diferents mostres són:

Taula 2. <i>Caracterització geomètrica de grandària de les diferents mostres de cada experiment</i>		
Mostra	Característiques geomètriques	
a	Cilíndrica	diàmetre $3 \cdot 10^{-2}$ m $L^* = 4.64 \cdot 10^{-3}$ m
b	Cilíndrica	diàmetre $4 \cdot 10^{-2}$ m $L^* = 4.6410^{-3}$ m
c	Paral·lelepípedica	$4 \times 4 \times 4.64 \cdot 10^{-3}$ m

L* és l'espessor del cilindre, que equival al gruix de pell.

3.1.2. Temperatura d'assecat

Les temperatures de l'aire d'assecat i les dimensions de la partícula emprades per avaluar la influència de la temperatura de l'aire d'assecat sobre la velocitat de l'aire es presenten a la taula 3.

No s'ha treballat a temperatures inferiors als 30°C ja que s'aproparien massa a la temperatura ambient i no permetria el seu control. No es van superar els 90°C per evitar el deteriorament de l'aliment.

Taula 3. <i>Temperatures de l'aire d'assecat, geometria i grandària de la partícula</i>	
Temperatura de l'aire (°C)	30, 40, 50, 60, 70, 80 i 90
Geometria	Cilíndrica
Diàmetre (m)	$3 \cdot 10^{-2}$
Alçada (m)	$4.64 \cdot 10^{-2}$

Una vegada deshidratades les mostres es realitzaren les mesures de color, es va procedir a l'extracció de la fibra i a la determinació de les propietats d'hidratació i retenció d'oli de la mateixa.

Una mostra addicional de pell de taronja va ésser sotmesa a un procés de liofilització. Aquesta mostra va servir de referència per avaluar els canvis de la fibra de taronja provocats per la deshidratació a diferents temperatures. Així, aquesta mostra va permetre comparar la fibra assecada a diferents temperatures amb la fibra original de la pell de taronja fresca.

3.1.3. Contracció de volum

Amb l'objectiu d'establir la relació entre el volum i la humitat de la pell de taronja a mesura que es va deshidratant, es va mesurar el volum i el diàmetre de les mostres deshidratades fins a diferents continguts d'humitats, per un interval d'humitats entre el 0.31 i 3.66 kg aigua/ kg sòlid sec (kg/kg ss).

Els experiments per a la mesura d'aquesta contracció es varen realitzar sobre peces cilíndriques de 3×10^{-2} m de diàmetre i un espessor inicial de pell de $4.64 \times 10^{-3} \pm 8 \times 10^{-2}$ m.

3.1.4. Isotermes d'equilibri

S'ha mesurat l'activitat d'aigua de mostres deshidratades de pell de taronja fins a diferents continguts d'humitats a un interval entre 2.42 i 0.06kg aigua /kg ss a una temperatura de 25°C.

Ja s'ha comentat la necessitat d'establir la relació entre l'activitat d'aigua i la humitat del producte.

A mostres de pell de taronja assecades fins a diferents continguts d'humitat se'ls mesurà la seva activitat d'aigua. Les isotermes d'equilibri obtingudes permetran tenir informació de la humitat d'equilibri.

Models utilitzats per a l'ajust de les isotermes

Els models avaluats per representar la isoterma d'equilibri de pell de taronja varen ésser tres models per descriure la relació entre l'activitat d'aigua i la humitat, el model empíric d'Oswin i dos models teòrics, el model de Halsey i el model de GAB.

Les expressions de les equacions dels models es mostren a la taula 4:

Taula 4. Models d'isotermes d'equilibri		
Nom del model	Model	Equació
GAB	$W_e = \frac{W_m \cdot C_g \cdot K_g \cdot a_w}{(1 - K_g \cdot a_w) \cdot [1 + (C_g - 1) \cdot K_g \cdot a_w]}$	[15]
Halsey	$W_e = \left[\frac{-C_h}{\ln a_w} \right]^{\frac{1}{n_h}}$	[16]
Oswin	$W_e = K_o \cdot \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{n_o}$	[17]

L'ajust dels models a les dades experimentals es va efectuar plantejant un problema d'optimització en un full de càlcul Excel 7.0TM i utilitzant l'eina de càlcul SOLVER. Es va estimar el valor del contingut d'humitat a partir de l'activitat d'aigua, calculant els residus quadràtics entre les dades experimentals i els valors calculats. L'optimització va consistir en estimar els valors dels coeficients dels models que minimitzaren la suma dels residus quadràtics.

Per realitzar una avaluació objectiva de la bondat dels models, es pot calcular el percentatge de variació explicada pel model a partir de la següent expressió (equació 18):

$$\%var = \left[1 - \frac{S_{yx}^2}{S_y^2} \right] \cdot 100 \quad [18]$$

on S_{xy} i S_y són, respectivament, les desviacions estàndard de la mostra i de la corresponent estimació. Els valors de les desviacions s'obtenen a partir de:

$$S_{yx}^2 = \frac{\sum (Y_{calc} - Y_{exp})^2}{N_e - 2} \quad [19] \quad S_y^2 = \frac{\sum (Y_{calc} - \bar{Y}_{exp})^2}{N_e - 2} \quad [20]$$

3.2. Modelització del procés difusiu

Amb l'objecte de posar a punt una metodologia per abordar la modelització de les corbes d'assecat de pell de taronja, es proposen tres models difusius amb diferent nivell de complexitat.

Els models proposats difereixen en les hipòtesis admeses per la seva resolució. En tots els models, se suposa que el sòlid assoleix immediatament la temperatura de l'aire d'assecat, per a qualsevol punt de la partícula, és a dir, que la temperatura del sòlid és equivalent a la temperatura de l'aire d'assecat.

Per cada model i a partir de resultats experimentals obtinguts a diferents temperatures d'aire d'assecat s'identificaran els paràmetres correspo-

nents. Posteriorment, es comprovarà la seva aplicabilitat en diferents geometries i grandàries de partícula.

En el model I s'assumeix que la partícula manté la seva geometria i el seu volum constants durant l'assecat. Mentre que en els models II i III es contempla l'efecte de la contracció de volum de la partícula durant el procés d'assecat, assumint que la variació de volum amb el contingut d'humitat mitja és de tipus lineal. En el model III es considera a més, que el coeficient de difusió és funció de la humitat a cada punt del sòlid (W_p) i a cada moment del procés.

A la taula 5 es mostren les característiques principals dels tres models proposats.

Taula 5. Principals característiques dels tres models difusius proposats		
Model	contracció de volum	$D=f(W_p)$
I	NO	NO
II	SI	NO
III	SI	SI

4. Tècniques experimentals

4.1 Determinació experimental de les corbes d'assecat

Es va dur a terme la deshidratació de les mostres de pell de taronja tallades en les diferents geometries i grandàries per convecció forçada a partir d'un corrent d'aire calent. Prèviament, s'ha preparat la posada en marxa de la instal·lació d'assecat. Una vegada que s'ha aconseguit l'estabilitat de les condicions de temperatura i velocitat de l'aire d'assecat, es col·loca la mostra a l'interior de la canastreta portamostres en forma de monocapa. L'aire calent d'assecat travessa el llit de mostra de forma perpendicular. En totes les experiències la velocitat de l'aire d'assecat va ésser d'aproximadament 3 m/s.

A través d'un sistema d'adquisició de dades automàtica per ordinador, es realitzen pesades periòdiques de manera que la variació entre dues pesades consecutives sigui inferior al 2%.

4.2. Anàlisi fisicoquímica i morfològica

4.2.1. Característiques morfològiques

Per fer la caracterització morfològica de la taronja *canoneta* es va mesurar el diàmetre, el pes i el gruix de pell de les taronges. Les mesures de diàmetre de taronja i de gruix de pell de taronja es varen fer utilitzant un peu de rei. Les mesures de diàmetre es varen fer sobre 45 taronges diferents mentre que pel gruix de pell es feren 15 repeticions.

El pes de les taronges es va fer amb una balança PB3002-S de la casa METTLER TOLEDO que té una precisió de 2 decimals. Les mesures es varen realitzar en més de 20 taronges diferents.

4.2.2. Humitat

La mesura d'humitat de les mostres de pell de taronja es va determinar seguint el mètode oficial de la AOAC, num. 934.06 (1990), mitjançant l'assecat en estufa a $70 \pm 2^\circ\text{C}$, fins a pes constant, a partir d'una mostra d'uns 5 g aproximadament, prèviament homogeneïtzada. Es va determinar el contingut d'humitat de la pell de taronja fresca i de les diferents mostres una vegada deshidratades per duplicat.

4.2.3. pH

Es va fer la determinació de pH d'una mostra de 15 taronges, introduint directament la sonda potenciomètrica (pH-metre Crison model meter digit 501) a quatre punts diferents de cada taronja.

4.2.4. Sòlids solubles

La mesura de sòlids solubles presents en la taronja fresca es va fer amb un refractòmetre ABBE 325 Zuzi a una temperatura de 25°C , prenent quatre mesures per taronja.

4.2.5. Activitat d'aigua

Les mesures de l'activitat d'aigua es realitzaren per triplicat a partir d'uns 6 g de pell de taronja a 25°C. Per a fer aquesta mesura s'utilitzà un higròmetre elèctric de conductivitat, Novasina Thermoconstanter TH200. La calibració de l'aparell es va efectuar amb l'ajuda de sals de referència.

4.2.6. Variació de volum amb la humitat

Es va mesurar el volum de les mostres de pell de taronja tallades en forma cilíndrica a diferents continguts d'humitats, per immersió en aigua i mesura immediata del volum d'aigua desplaçat. També es va mesurar la reducció longitudinal que sofria el diàmetre per a cada contingut d'humitat amb un peu de rei, per conèixer d'aquesta manera la relació entre la reducció global i la reducció en la direcció radial del cilindre de pell de taronja. Es va partir de 5 mostres diferents per determinar 14 mesures a diferents continguts d'humitat, prenent dues mesures de la variació longitudinal per a cada contingut d'humitat.

4.2.7. Color

Per tal de realitzar la mesura física del color, es va emprar un colorímetre MINOLTA model CR-300 amb un diàmetre d'obertura de 8×10^{-3} m, prenent com a referència l'il·luminant C i observador a 2°. Prèviament a les mesures de color l'equip es va calibrar utilitzant un plat blanc de calibració.

El color es determinà a diferents mostres: pell de taronja fresca, mostres de pell de taronja assecades a diferents temperatures i de la fibra extreta d'aquestes mostres assecades. Es varen prendre entre 15 i 20 repeticions de cada mostra, segons la dispersió dels resultats de cada una.

Per avaluar els canvis de color soferts després del procés de deshidratació, es prendrà com a referència una mostra liofilitzada, ja que s'assumeix que no ha sofert canvis de color degut al tractament tèrmic que pugui ocasionar la ruptura de parets cel·lulars que puguin alterar la coloració.

4.2.8. Contingut en fibra alimentària

L'extracció dels polisacàrids que conformen la fibra va ésser realitzada mitjançant la precipitació en etanol al 85% a 80°C, tenint en compte que la pell de taronja presenta un contingut de midó relativament baix. Les proteïnes intercel·lulars i altres molècules, precipiten conjuntament amb els polisacàrids, fet pel que en el present treball, el terme "fibra" fa referència a la part de residu insoluble en alcohol etílic (AIR) en les condicions establertes.

4.2.9. Propietats funcionals de la fibra

Per a la determinació de les propietats funcionals de la fibra, la capacitat de retenció d'aigua i la capacitat de retenció de lípids, de les diferents mostres assecades, s'utilitza una centrífuga ALC 4218 a una velocitat de 5800 rpm.

I. Propietats d'hidratació de la fibra

a) Inflament

La capacitat d'inflament (SW) de la fibra es determinà després d'estar en equilibri amb el solvent, d'acord amb la metodologia següent:

Una mostra d'aproximadament 200 mg es pesa dins d'una proveta graduada de 10 mL i s'enrassa amb aigua destil·lada. Després d'unes 16 h per aconseguir l'equilibri de la suspensió, es mesura el volum de la fibra inflada, expressant el resultat com a mL/ g de fibra.

b) Capacitat de retenció d'aigua

La capacitat de retenció d'aigua (WRC) es determina seguint la metodologia següent:

- S'agafen 200 mg de fibra i se suspenen durant 24 h en 10 mL d'aigua destil·lada.
- Passades les 24 h, se centrifuga a 2000 g durant 25 min.
- Un cop decantats, se separen les dues fases, sòlida i líquida, i es pesa la part sòlida corresponent a la fibra amb l'aigua que ha retingut. La diferència de pes inicial de fibra i el pes final de fibra inflada és la quantitat d'aigua retinguda, que se sol expressar com a g d'aigua/ g fibra.

II. Propietats relacionades amb l'absorció de molècules orgàniques

a) Capacitat de retenció de lípids

Per determinar la capacitat de retenció de greixos (FAC) se segueix el procediment:

- S'agafen les mostres de 200 mg, es mesclen en 10 mL d'oli vegetal i es deixa reposar durant 24 h.
- Transcorregudes les 24 h, se centrifuga a 2000 g durant 20 min.
- L'excés d'oli sobrenedant es decanta i s'expressa el resultat en g d'oli/g de fibra.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

1. Caracterització de la matèria primera

La taronja *canoneta*, en general, es caracteritza per la seva forma rodona o ovalada, de mida variable i compartimentada interiorment en grells.

A la taula 6 s'expressen els resultats obtinguts en forma de mitjanes i desviacions estàndard de les mesures que caracteritzen de forma general la taronja *canoneta*.

Taula 6. Caracterització morfològica i fisicoquímica en forma de mitjanes i desviacions estàndard

Paràmetre	Mesura	Unitats
Diàmetre [10 ²]	6.6 ± 0.4	m
Massa	0.184 ± 0.038	kg
Gruix pell [10 ³]	4.64 ± 0.80	m
% pell	39.5 ± 0.4	g pell/100 g taronja
% polpa	34.0 ± 0.4	g polpa/100 g taronja
Humitat total	86.3 ± 0.6	g aigua/100 g taronja
pH	4.06 ± 0.31	-
Sòlids solubles	9.73 ± 0.83	%
Fibra total (amb pell)	6.25 ± 0.48	g fibra/100 g taronja amb pell
Fibra taronja (sense pell)	3.20 ± 0.22	g fibra/100 g taronja sense pell

Segons Ramulu i col. (2003) el contingut d'humitat de la taronja sencera és de 88.4%, un valor lleugerament superior a l'obtingut en la taronja *canoneta* del present treball, expressat en g aigua/100 g de taronja, mentre que un valor similar varen trobar McCance & Widdowson's (1994), presentant un valor del contingut d'humitat de taronja del 86.1%, enfront al 86.3% (6.31 kg/kg ss) obtingut en el present estudi.

Pel que respecte al pH, el resultat obtingut (pH≈4) es troba dins l'interval que proposa Kondo i col. (2000) en taronja de la varietat Iyokan que se situa entre un pH de 3.1 fins a 4.3.

Respecte al contingut en sòlids solubles, Jie i col. (2003) obtingueren un valor de sòlids solubles de 9.25 ± 0.11 , expressat en percentatge, en taronges xineses.

S’han recopilat dades del contingut de fibra en taronja i s’ha obtingut una dispersió de resultats elevada des d’1.1 fins a 5.4 g fibra/100 g taronja comestible (McCance & Widdowson, 1994; Chang i col., 1998; Ramulu i col., 2003). Aquests valors corresponen a la fibra de la taronja comestible, és a dir, la taronja sense la pell, valors comparables a 3.20 g fibra/100 g taronja (sense pell) obtingut en aquest estudi.

En el present estudi es pretén avaluar la possibilitat d'utilitzar un subproducte com és la pell de taronja, com a font de fibra de qualitat. Per tant, es va procedir a la mesura del contingut inicial de fibra i caracteritzar el color de la pell fresca. Els resultats obtinguts es presenten a la taula 7.

Taula 7. Mitjanes i desviacions estàndard del contingut d'humitat, la proporció de pell, contingut de fibra i colorimetries per la cara externa de la pell de taronja canoneta		
Paràmetre	Mesura	Unitats
Humitat pell	78.6 ± 0.8	Kg aigua/kg ss
Proporció de pell	53.9 ± 3.0	g pell/100 g taronja sucada
Fibra pell	10.9 ± 0.3	g fibra/100 g pell de taronja
Color pell (cara externa)		
L*	69.7 ± 2.5	-
a*	16.3 ± 3.1	-
b*	69.5 ± 3.1	-
Croma	71.4 ± 4.4	-

Gorinstein i col., 2001 va trobar un contingut de 2.49 ± 0.22 g fibra/100 g pell de taronja. Si comparam aquests valors de contingut en fibra de pell de taronja amb els obtinguts en aquest estudi, s’observa que la pell de taronja *canoneta* presenta un contingut de fibra notablement superior. Aquesta gran diferència pot ser deguda a la diversitat de les taronges i a les diferents tècniques utilitzades per a la separació de la pell.

Pel que respecte a la colorimetria de les taronges, es varen fer mesures utilitzant les coordenades de color CIELab. Els resultats en forma de mitjanes i de les desviacions estàndard obtinguts per les coordenades de color mostren un elevat valor de b* en comparació amb el valor de a*, juntament amb una elevada lluminositat (L*), resultats que reflecteixen el color groguenc lleugerament ataronjat característic de la taronja *canoneta*.

2. Isotermes d'equilibri

No s’han trobat dades bibliogràfiques d’isotermes de pell de taronja. Per tant, es va determinar l’activitat d’aigua a 25°C de mostres de pell de taronja amb diferents continguts d’humitat, entre 0.06 i 2.42 kg aigua/kg sòlid sec. Els resultats experimentals obtinguts es presenten a la taula 8.

A partir dels resultats obtinguts de la variació de l’activitat d’aigua amb el contingut d’humitat de les mostres de pell de taronja es varen identificar els paràmetres corresponents a tres models d’isotermes, els models d’Oswin, Halsey i GAB, descrits prèviament a la introducció d’aquest treball.

Taula 8. Dades experimentals obtingudes de la relació entre el contingut d'humitat i l'activitat d'aigua de pell de taronja a una temperatura de 25°C	
Humitat (kg/kg ss)	Activitat d'aigua
2.42	0.966
1.34	0.947
1.04	0.948
0.54	0.881
0.53	0.880
0.29	0.731
0.16	0.535
0.08	0.521
0.07	0.508
0.06	0.204
0.03	0.482

Per avaluar la bondat dels models es va calcular el percentatge de variància explicada en la comparació de les dades experimentals amb les estimades a partir dels models proposats. Els valors identificats pels paràmetres i els percentatges de variància obtinguts es mostren a la taula 9.

A partir d'aquests resultats es pot concloure que els tres models avaluats permeten estimar correctament l'activitat d'aigua de pell de taronja a 25°C, si bé pareix ésser que el model de GAB és el que proporcionà una simulació més acurada, presentant un valor de percentatge de variància més elevat.

Taula 9. Valors identificats per als paràmetres de les isoterms de pell de taronja, utilitzant els diferents models a 25°C

Nom del model	Model	Paràmetres	% variància
Halsey	$W_e = \left[\frac{-C_h}{\ln a_w} \right]^{\frac{1}{n_h}}$	$n_h = 8.107 \times 10^{-1}$ $C_h = 6.802 \times 10^{-2}$	97.0
Oswin	$W_e = K_o \cdot \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{n_o}$	$n_o = 1.189$ $K_o = 4.28 \times 10^{-2}$	96.8
GAB	$W_e = \frac{W_m \cdot C_g \cdot K_g \cdot a_w}{(1 - K_g \cdot a_w) \cdot [1 + (C_g - 1) \cdot K_g \cdot a_w]}$	$C_g = 4.025 \times 10^3$ $K_g = 1.014$ $W_m = 4.935 \times 10^{-2}$	98.1

A la figura 9 es presenten els resultats de la isoterma de GAB ajustada a partir dels resultats obtinguts experimentalment a 25°C. Com pot observar-se, hi ha una bona concordança entre els resultats experimentals i els simulats.

La millor capacitat de predicció del model de GAB ha estat considerada en diferents estudis i verificada per diversos aliments. Lahsasni i col. (2004) estudià cinc models d'isoterms en peres i va trobar que el model de GAB és el que presentava una millor capacitat de predicció. Vázquez i col. (2001) va comparar la capacitat de sis models d'isoterms per simular la variació de la humitat amb l'activitat d'aigua de castanyes i va obtenir que el model de GAB, junt amb el model d'Oswin eren els que presentaven millor capacitat de predicció. També Santalla & Mas-

cheroni (2003) compararen diferents models d'isoterms en gira-sol i varen concloure que el model de GAB és el que més bé prediu aquestes isoterms.

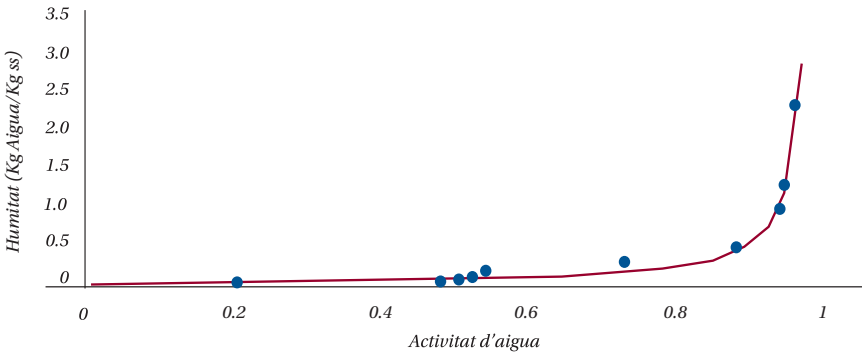


Figura 9. Representació de la isoterma ajustada a partir del model de GAB.

3. Contracció de volum

Amb la finalitat d'avaluar la contracció de volum que sofreix la partícula durant el procés d'assecat, es varen realitzar mesures del volum i el diàmetre a mesura que el contingut d'humitat anava disminuint durant el procés d'assecat utilitzant mostres cilíndriques amb un diàmetre inicial de 3x10⁻² m.

A partir dels resultats obtinguts, presentats a la taula 10, s'estimà la variació de l'espessor (L) de la pell de taronja amb el seu contingut d'humitat. A la figura 10 s'han presentat els valors obtinguts de L/L₀ enfront al contingut d'humitat de pell de taronja. Com pot observar-se a la figura, els resultats mostren una tendència lineal, amb un coeficient de correlació elevat (r²=0.98). Els valors dels paràmetres de l'equació lineal estimada representativa de la contracció de les dimensions característiques es mostren a la taula 11.

Taula 10. Resultats obtinguts del diàmetre i el volum enfront al contingut d'humitat de pell de taronja

Humitat (kg/kg ss)	Diàmetre [10²] (m)	Volum [10⁶] (m³)
3.66	2.92	35
3.08	2.82	24
2.51	2.71	22
1.91	2.54	16
1.57	2.44	14
1.18	2.30	12
1.03	2.42	13
0.61	2.22	11
0.31	2.14	9

Taula 11. Paràmetres de l'equació corresponent a la contracció de volum

Paràmetres de l'equació:	$\frac{L}{L_0} = a_v + b_v \cdot W$		
	a_v	b_v	r^2

Si s'observa el gràfic de la figura 10, es veu que per a un contingut d'humitat de 2 kg aigua/kg sòlid sec, la reducció és aproximadament del 30%, mentre que a un contingut d'humitat de 0.5 kg /kg ss, la reducció ja se situa al voltant del 50%.

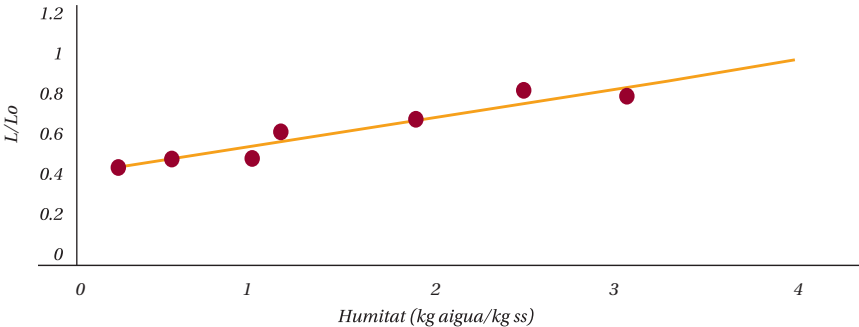


Figura 10. Relació de la variació d'alçada (L/L_0) amb el contingut d'humitat del sòlid a la pell de taronja.

4. Assecat de pell de taronja

Es varen dur a terme experiències de deshidratació de pell de taronja a diferents temperatures d'aire d'assecat, utilitzant diferents geometries i grandàries de partícula.

Amb l'objecte d'avaluar la influència de la grandària i la geometria de les mostres sobre les corbes d'assecat, es varen dur a terme tres experiments de deshidratació des d'un contingut d'humitat inicial de 3.66 kg/kg ss fins a 0.25 kg/kg ss, a una temperatura d'aire d'assecat de 50°C amb pell de taronja tallada segons les geometries i dimensions que es mostren a la taula 12, tenint en compte que l'alçada (L) de les mostres correspon sempre a l'espessor de la pell de taronja.

Taula 12. Caracterització geomètrica de les diferents mostres per a cada experiment.

Mostra	Característiques geomètriques
3C	Cilíndrica, diàmetre $3 \cdot 10^{-2} m$ espessor = L
4C	Cilíndrica, diàmetre $4 \cdot 10^{-2} m$ espessor = L
4P	Paral·lelepípedica, $4 \cdot 10^{-2} \times 4 \cdot 10^{-2} \times 4 \cdot 10^{-2} m$

A la figura 11 s'ha representat l'evolució del contingut d'humitat durant el temps d'assecat de les mostres descrites a la taula 12. Com pot observar-se, les corbes d'assecat corresponents a les mostres 3C, 4C i 4P varen ésser molt semblants, desviant-se lleugerament per sota la mostra 3C.

Per exemple, els resultats representats a la figura 11, demostren que per un temps d'assecat de 5000 s, el contingut d'humitat de les mostres amb forma cilíndrica de 4 cm de diàmetre i per la forma paral·lelepípedica de 4 cm de costat, és d'aproximadament 1.4 kg aigua/kg sòlid sec i en el cas de la forma cilíndrica de diàmetre 3 cm és de 1.25 kg aigua/kg sòlid sec.

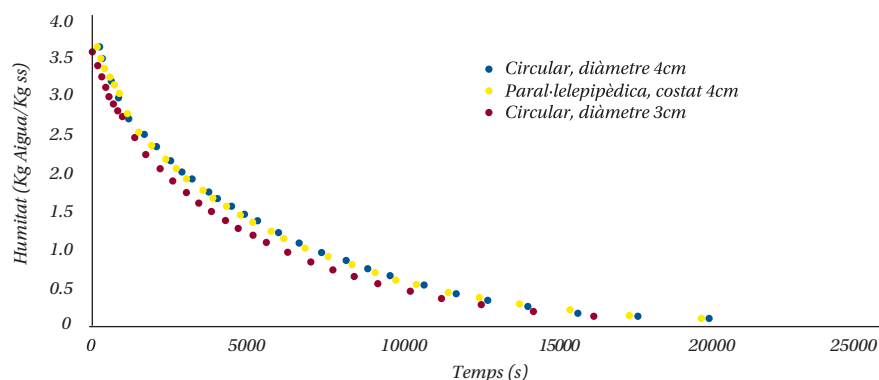


Figura 11. Comparació de les corbes d'assecat a 50°C per mostres amb diferents dimensions i característiques geomètriques.

5. Influència de la temperatura d'assecat

Es va dur a terme el seguiment de les corbes d'assecat de pell de taronja amb geometria cilíndrica amb diàmetre $3 \cdot 10^{-2}$ m, des d'un contingut d'humitat de 3.66 fins a 0.25 kg aigua/kg ss a diferents temperatures d'aire d'assecat, des de 30° fins a 90°C en intervals de 10°C.

Els resultats obtinguts queden reflectits a la figura 12, mitjançant la representació de la humitat mitja en base seca enfront al temps d'assecat. La duració del temps d'assecat va variar entre 1 i 7 h, depenent de la temperatura de l'aire d'assecat.

A les corbes d'assecat mostrades a les figures 12 i 13 no es detecta l'existència d'un període d'assecat constant, habitual en l'assecat per convecció de fruites i verdures a altes velocitats d'aire calent. Tampoc va ésser possible distingir diferents períodes d'assecat amb velocitat decreixent (Azzouz i col., 2002).

Com es pot observar a les figures 12 i 13, la temperatura de l'aire d'assecat mostra una important influència sobre les corbes d'assecat en tot l'interval de temperatures estudiat, des de 30° fins a 90°C. Per exemple, als 2500 s, el percentatge de pèrdua d'humitat és de 28.1, 41.3, 51.6, 63.3, 75.1, 85.3, 92.7% a 30, 40, 50, 60, 70, 80 i 90°C, respectivament.

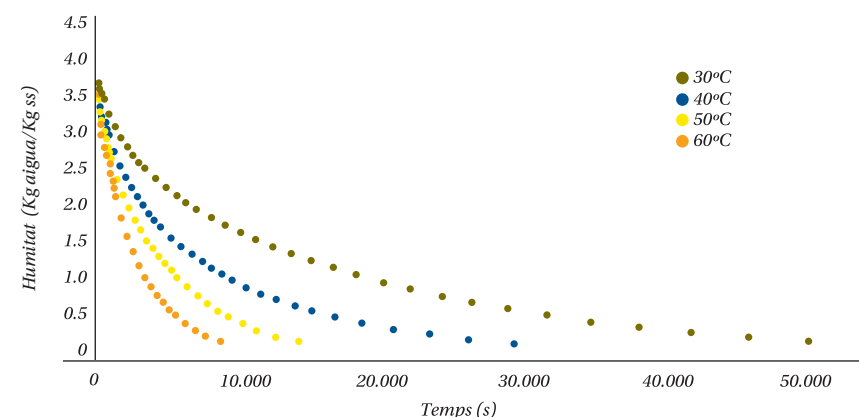


Figura 12. Corbes d'assecat de pell de taronja. Influència de la temperatura de l'aire d'assecat a 30°, 40°, 50° i 60°C.

Respecte a l'experiència d'assecat realitzada amb aire a 90°C pot observar-se a la figura 13 que la velocitat d'assecat pareix ésser més baixa d'allò que li correspondria seguint la tendència del conjunt de les altres corbes. Sembla que, a temperatures superiors a 80°C, es crea una barrera física en la seva superfície de les partícules de pell de taronja que dificultaria la transferència de matèria, per això la velocitat d'assecat és més baixa d'allò que s'esperaria. Aquest mateix efecte va ésser observat per altres autors en l'assecat per aire calent de diferents productes alimentaris. Simal i col. (2000) observaren aquest mateix efecte en Aloe vera, igualment Demirel & Turhan (2003) observaren també com les ci-

nètiques de bananes presentaven un canvi de comportament a altes temperatures i atribuirem aquest fet a l'efecte de l'encrostament de la superfície de les partícules.

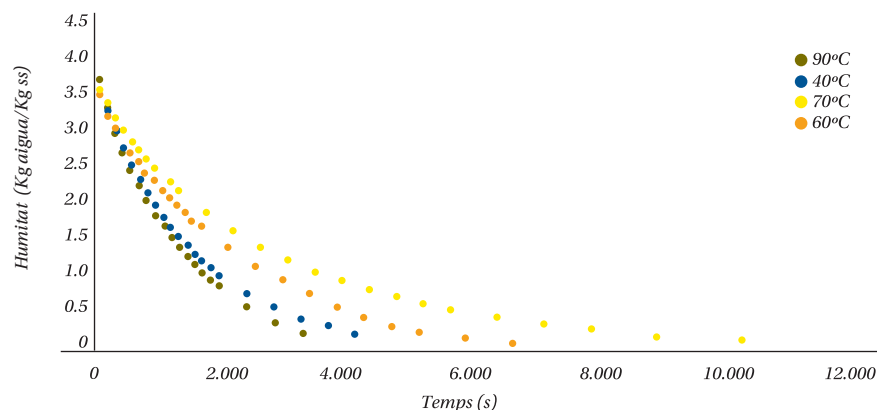


Figura 13. Corbes d'assecat de pell de taronja. Influència de la temperatura de l'aire d'assecat a 60°, 70°, 80° i 90°C.

6. Modelització

En el cas de l'assecat de pell de taronja, es va considerar que la geometria de les mostres cilíndriques, amb un diàmetre molt més gran que el seu espessor, es comporta com una làmina d'espessor finit i dimensions infinites. Per tant, es pot assumir que el flux de matèria que es produeix en el sinus de la partícula serà pràcticament unidimensional. La transferència unidireccional de matèria serà considerada només en un únic sentit, ja que la transferència per la cara externa de l'epidermis és menyspreable respecte a la transferència de matèria a través de la cara interna.

Per a la modelització de les corbes d'assecat es varen utilitzar els resultats de les experiències d'assecat realitzades amb cilindres de pell de taronja de 3×10^{-2} m de diàmetre assecades a 40, 60 i 80°C. A partir d'aquestes

dades experimentals, es varen identificar els paràmetres dels models i finalment, es va comprovar la capacitat de simulació de cada un d'ells.

Per a dur a terme l'anàlisi dels resultats obtinguts a cada model, primer, es procedirà a l'aplicació del model I, el més senzill, i s'avaluarà la seva capacitat de simulació de les corbes d'assecat experimentals de pell de taronja. Posteriorment, s'aplicarà el segon model, més complex, i també es comprovarà la capacitat del model de simular les corbes per veure si es produeix una millora dels resultats a mesura que es va incrementant la complexitat del model. Igualment es procedirà per al model III.

En els models I i II, s'identificarà el valor del factor preexponencial (D_0) i de l'energia d'activació (E_a) segons l'equació 21. En el model I es considera menyspreable l'efecte de la contracció de volum soferta per la partícula durant el procés d'assecat, mentre que en el model II es tindrà en compte que l'espessor del sòlid disminueix amb el seu contingut d'humitat.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT_s}\right) \quad [21]$$

Per últim, en el model III, s'identificarà un paràmetre addicional (n) que introdueix l'efecte del contingut d'humitat puntual del sòlid, és a dir, a cada punt i en cada instant, sobre el coeficient de difusió efectiu. Els paràmetres D_0 , E_a i n es relacionen d'acord amb l'equació 22. S'avaluarà també la validesa de l'equació per representar la dependència del coeficient de difusió amb la temperatura i la humitat puntual, identificant-se els tres paràmetres de l'equació 22.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT_s} \times W^n\right) \quad [22]$$

Una vegada identificats els paràmetres dels models, es procedirà a la simulació de les experiències d'assecat a les mateixes temperatures d'aire d'assecat que serviren per obtenir els paràmetres del model i a temperatures d'aire d'assecat diferents de les utilitzades per a la

identificació dels paràmetres del model, per comprovar si el model té la capacitat per predir les cinètiques en condicions distintes a aquelles per a les quals es va establir el model.

Adicionalment, s'avaluarà matemàticament la capacitat de simulació utilitzant el percentatge de variància explicada pel model, calculat mitjançant la comparació dels valors d'humitat mitja experimentals i els valors estimats mitjançant l'ús dels diferents models.

6.1 Model I: sense contracció de volum

Per a simular les corbes d'assecat de pell de taronja, en primer lloc, es va desenvolupar el model I, en el qual s'admet la hipòtesi de què la partícula manté el seu volum i la seva geometria durant tot el procés.

A partir de l'equació 23 i mitjançant els resultats experimentals de les corbes d'assecat obtingudes a 40, 60 i 80°C s'identificaren els paràmetres D_0 i E_a de l'equació 21. Per això, es varen calcular per cada Δ , el contingut d'humitat puntual de cada subvolum d'acord amb el mètode de diferències finites, estimant la humitat mitja a partir d'aquestes.

$$W(x, t + \Delta t) = \frac{D \times \Delta t}{(\Delta x)^2} [W(x + \Delta x, t) + W(x - \Delta x, t) - 2W(x, t)] + W(x, t) \quad [23]$$

Els valors obtinguts per als paràmetres D_0 i E_a varen ésser aquells que minimitzaren les diferències entre les humitats mitges calculades i les experimentals. Per tant, l'equació del model I (equació 22) quedarà definida per la següent expressió:

$$D_{eff} = 2.821 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{-38732}{RT_s}\right) \quad [24]$$

D'acord amb aquesta equació els valors de D_{eff} calculats estarien entre $5.93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ i $7.53 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a 30 i 90°C, respectivament. No s'han trobat dades a la bibliografia sobre el coeficient de difusió de l'aigua en

pell de taronja. Simal i col. (2003) estudiaren les cinètiques d'assecat de kiwi amb diferents graus de maduresa, obtenint valors compresos entre $6.3 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 30°C i $3.09 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a 80°C; en l'assecat de prunes, Sabarez i Price (1999) obtingueren un efecte de la temperatura sobre el coeficient de difusió molt més petit.

Respecte al valor de E_a obtingut en aquest model, el resultat obtingut és d'aproximadament un valor de 39 kJ/mol, un valor per sota l'obtingut per Azzouz i col. (2002), en que presentava un valor de 54 i 49 kJ/mol en l'assecat de raïm de les varietats sultanin i chasselas, respectivament. En l'assecat de pastanagues, Reyes i col. (2002) obtingueren un valor de E_a de 16 kJ/mol, per sota l'obtingut en aquest model per l'assecat de pell de taronja.

A la figura 14 es mostren les simulacions de les cinètiques obtingudes mitjançant el model I, juntament amb les corbes d'assecat experimentals a les temperatures de 40, 60 i 80°C, amb les quals es varen determinar els paràmetres de l'equació 22. Si observam la figura 14, es veu que els resultats de la simulació s'ajusten bé a les corbes d'assecat obtingudes experimentals.

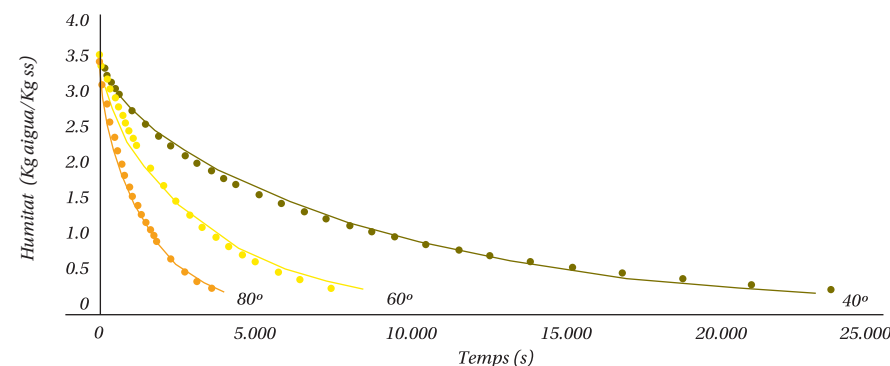


Figura 14. Comparació entre les corbes d'assecat estimades a partir del model I, amb les corbes obtingudes experimentalment, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 40, 60 i 80°C.

L'avaluació del comportament del model és a partir de la simulació del model en condicions diferents a les utilitzades per a l'obtenció dels paràmetres de l'equació. Per això, es varen simular les cinètiques a diferents temperatures (30, 50, 70 i 90°C) per observar si s'ajustaven bé a les corbes experimentals per a aquestes temperatures. Tal i com s'observa a la figura 15, per a aquestes noves condicions el model segueix el mateix comportament que a 40, 60 i 80°C presentant una bona capacitat de simulació, excepte a 90°C que pareix ésser que el model preveu una velocitat més ràpida que la que presenta experimentalment. Aquest fet sol ésser a causa de l'encrostament de la cara superficial provocat per l'assecat a alta temperatura, en què els porus queden obturats i dificulten la sortida d'aigua des de l'interior cap al fluid, fet pel qual la velocitat d'assecat és més lenta d'allò que s'esperaria. Degut al comportament diferent que presenta la cinètica de 90°C, es va decidir no incorporar aquesta cinètica a la modelització del procés d'assecat, estudiant l'assecat de pell de taronja per a l'interval de 30 a 80°C.

A la figura 15 es mostren els resultats de les corbes d'assecat experimentals i les simulades a partir del model I per a aquestes temperatures (30, 50 i 70°C).

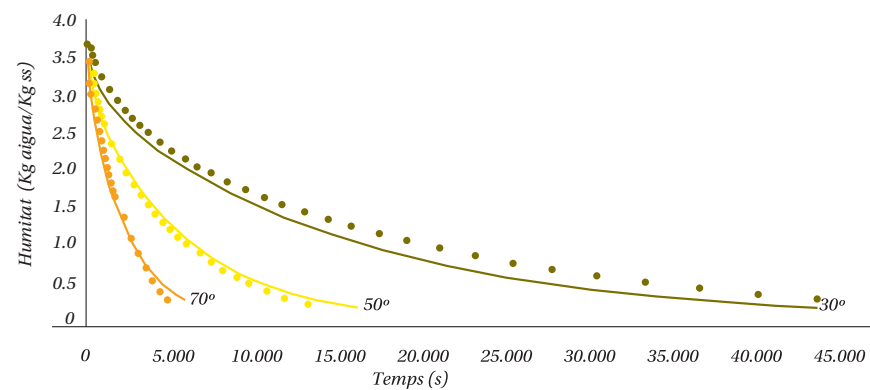


Figura 15. Comparació entre les corbes d'assecat estimades a partir del model I, amb les corbes obtingudes experimentalment, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 30, 50 i 70°C.

L'avaluació matemàtica dels resultats obtinguts per comparació dels valors d'humitat estimats mitjançant el model I i els valors experimentals, es va fer calculant el percentatge de variància explicada pel model proposat mitjançant l'equació 18.

A la següent taula (taula 13) es mostren els resultats obtinguts del percentatge de variància explicada pel model, descartant, com ja s'ha comentat, la cinètica de 90°C, essent el percentatge de variància mig 98.4 ± 1.3 .

Taula 13. Percentatges de variància explicada pel model I, calculats mitjançant la comparació dels resultats experimentals i estimats de la humitat mitja. Experiències realitzades a diferents temperatures d'aire d'assecat

Temperatura de l'aire d'assecat (°C)	% de variància
30	98.9
40	99.5
50	99.7
60	98.3
70	97.4
80	98.2
% variància mitja	98.4 ± 1.3

Els resultats obtinguts indiquen que mitjançant un model senzill, com és el model I, és possible simular adequadament la informació sobre les cinètiques d'assecat de pell de taronja a les diferents temperatures d'aire d'assecat.

A continuació, es va considerar convenient incrementar el grau de complexitat del model, disminuint el nombre d'hipòtesis adoptades amb l'objecte d'aconseguir una millor simulació dels resultats experimentals.

6.2. Model II: Amb contracció de volum

A partir de l'estudi realitzat de la contracció del volum de la partícula, es pot observar que les partícules sofreixen una considerable contracció de volum durant l'assecat. Aquesta reducció afecta el procés de deshidratació i, per tant, s'ha de plantejar la possibilitat d'introduir aquest efecte en el model difusiu.

Per desenvolupar aquest segon model es parteix de les mateixes hipòtesis assumides pel model I, però en aquest cas, incorporant l'efecte de la contracció de volum.

Seguint la mateixa metodologia que l'emprada per obtenir el model I, es varen identificar els paràmetres D_o i E_a a partir dels resultats experimentals de les corbes d'assecat realitzades a 40, 60 i 80°C.

A l'equació 25 es mostren els valors obtinguts pels paràmetres de l'equació representativa del model II:

$$D_{eff} = 1.775 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{-39258}{RT_s}\right) \quad [25]$$

Els valors del coeficient de difusió efectiu es troben dins el rang de $3.03 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ i $2.75 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a 30 i 80°C, respectivament. Aquests valors són sensiblement inferiors als obtinguts en el model I, que se situaven entre $5.93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ i $5.23 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ per a aquest interval de temperatures. Els valors de l'energia d'activació, se situen en aquest cas, en 39 kJ/mol, un valor similar, lleugerament superior a l'obtingut a partir del model I, que presentava un valor de 38 kJ/mol.

Reyes i col. (2002) calcularen els valors de E_a i D_{eff} considerant l'efecte de la contracció de volum i sense considerar-lo. Els valors de E_a sense contracció i amb contracció foren molt similars, 16129 i 16030 KJ/mol, respectivament. Pel que respecte als valors de D_{eff} , Reyes i col. (2002) també observaren diferències sense considerar la contracció de volum i considerant-la, obtenint uns resultats de 7.3×10^{-4} i $3.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivament.

A la figura 16 s'han representat els resultats experimentals de les corbes d'assecat obtingudes a les temperatures de 40, 60 i 80°C i els valors estimats a partir del model II.

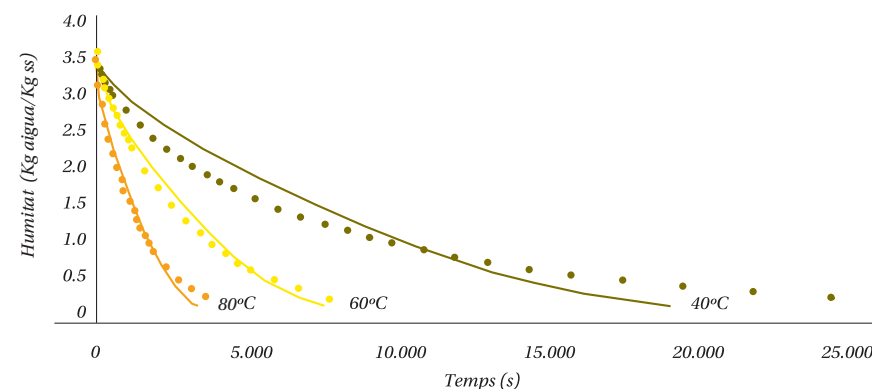


Figura 16. Comparació entre les cinètiques d'assecat de pell de taronja de les corbes experimentals i les estimades amb el model II, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 40, 60 i 80°C.

Com pot observar-se a la figura 16, el model presenta un comportament clarament diferent al de les corbes experimentals. Per tant, pareix ésser que el model II no presenta una millora respecte al model I perquè les cinètiques simulades s'ajustaven més bé a les experimentals en el cas del model I.

Per comprovar la capacitat del model, a l'igual del model I, es varen dur a terme les simulacions de corbes d'assecat corresponents a experiències realitzades a temperatures d'aire d'assecat diferents a les emprades per obtenir els paràmetres del model, per veure si el comportament del model és adequat per a condicions fora de les quals s'ha establert el model. A la figura 17 es presenten els resultats de les corbes experimentals i les estimades amb el models II a 30, 50 i 70°C.

En principi, la simulació de les corbes d'assecat a diferents temperatures d'aire d'assecat per a les quals es varen establir els paràmetres del model segueixen el mateix comportament que les corbes d'assecat de 40, 60 i 80°C.

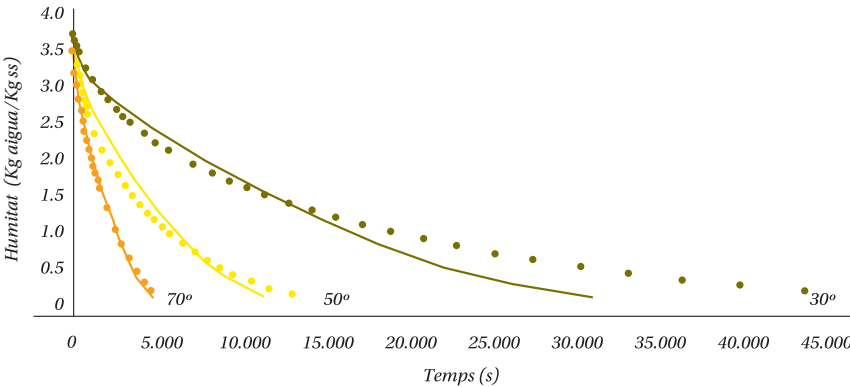


Figura 17. Comparació entre les cinètiques d'assecat de pell de taronja de les corbes experimentals i les estimades amb el model II, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 30, 50 i 70°C.

Tal i com s'observa a la figura 17, el comportament del model no s'ajusta correctament als resultats obtinguts experimentalment.

Taula 14. Percentatges de variància explicada pel model II, calculats mitjançant la comparació dels resultats experimentals i estimats de la humitat mitja. Experiències realitzades a diferents temperatures d'aire d'assecat

Temperatura de l'aire d'assecat (°C)	% de variància
30	91.5
40	91.2
50	95.1
60	98.1
70	98.2
80	97.7
% variància mitja	95.3 ± 3.2

A temperatures d'aire d'assecat elevades, el model s'ajusta més bé que a temperatures d'aire d'assecat baixes, en què la cinètica simulada creua la cinètica experimental obtinguda. Per tal d'avaluar matemàticament la bondat del model II, a la taula 14, es presenten els resultats calculats dels percentatges de variància explicada pel segon model. El percentatge de variància mitja és de $95.3 \pm 3.2\%$.

Amb l'objecte de millorar la simulació de les corbes d'assecat de pell de taronja es planteja a continuació la possibilitat de què el coeficient de difusió fos funció, no només de la temperatura de l'aire d'assecat, sinó també del contingut d'humitat del sòlid a cada moment.

6.3. Model III: Amb contracció de volum i $D_{\text{eff}}=f(W_p)$

Després de la simulació aconseguida mitjançant els models I i II, es va voler avaluar la possibilitat de millorar la capacitat del model incorporant la contracció de volum i considerant, a més, la influència de la variació de la humitat puntual sobre el coeficient de difusió. Mitjançant aquesta modelització es pretén, per un costat, augmentar la capacitat de simulació de les corbes d'assecat i, per l'altre, obtenir un model més fidel a la realitat, obtenint valors del coeficient de difusió més propers als valors reals.

A l'hora de desenvolupar el model, es parteixen de les mateixes hipòtesis assumides pel model II si bé en aquest cas, es té en compte a més la influència de la humitat a cada punt i a cada instant sobre el coeficient de difusió.

En aquest tercer model, a més d'identificar els paràmetres D_0 i E_a es va identificar un tercer paràmetre, n , que incorpora la influència de la humitat puntual del sòlid sobre el coeficient de difusió (equació 26). D'aquesta manera, el coeficient de difusió és una propietat que va canviant a mesura que transcorre el procés d'assecat i que és funció de la temperatura d'aire d'assecat i de la humitat puntual. Com pot observar-se en l'equació 26, quan n val 0, aquesta expressió correspon a l'equació d'Arrhenius i quan més gran és el valor del paràmetre n , en valor absolut, major és la influència del contingut d'humitat sobre el coeficient de difusió efectiu.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT_s} \times W_p^n\right) \quad [26]$$

Els paràmetres d'aquesta equació 26, D_0 , E_a i n s'identifiquen considerant l'efecte de la contracció de volum i estimant les humitats puntuals calculades mitjançant el mètode de diferències finites. La identificació d'aquests paràmetres es va fer a partir de les corbes d'assecat experimentals a 40, 60 i 80°C.

Els resultats que es varen obtenir pels diferents paràmetres de l'equació 26 es mostren a l'equació 27.

$$D_{eff} = 1.200 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{-39334}{RT_s} + W_p^{0.0472}\right) \quad [27]$$

El valor obtingut de E_a és similar a l'obtingut en el model II, en aquest cas era de 39258 J/mol i lleugerament superior a l'obtingut a partir del model I, que presenta un valor d'aquest paràmetre de 38732 KJ/mol. Pel que respecte el valor de D_0 , els models II i III mostren uns valors semblants de $1.177 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i de $1.200 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivament, mentre que el valor d'aquest paràmetre obtingut en el model I se situa per sobre d'aquests, presentant un valor de $2.821 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

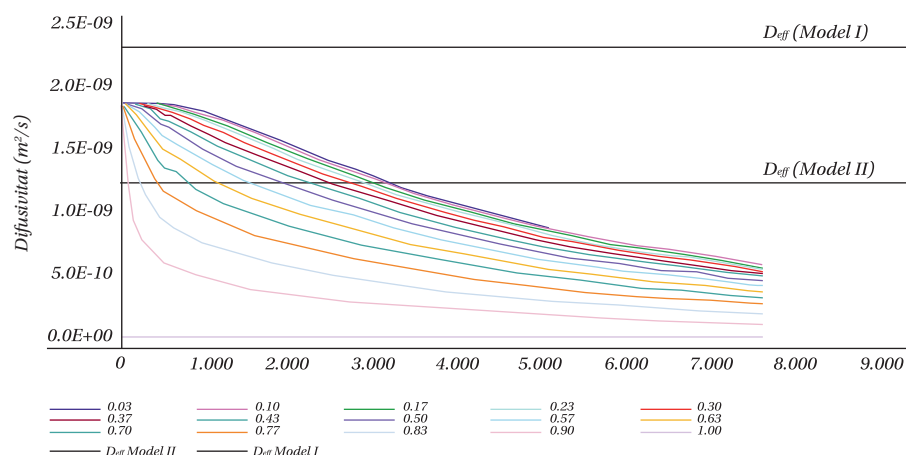


Figura 18. Variació de la difusivitat efectiva durant el temps d'assecat per diferents posicions adimensionals sobre la partícula, a una temperatura de 60°C, estimada mitjançant el model III.

Els valors de la difusivitat efectiva obtinguts amb el model III varien en funció del contingut d'humitat puntual i per tant, de la posició. A la figura 18 es mostra un exemple dels resultats obtinguts de la variació de la difusivitat efectiva en funció del temps d'assecat a una temperatura de 60°C.

Com pot observar-se, a mesura que transcorre el procés d'assecat, existeixen menys diferències del coeficient de difusió en funció de la posició adimensional. A temps curts d'assecat, la influència del contingut d'humitat és més important que al final del procés d'assecat de pell de taronja. Si comparem els valors dels D_{eff} obtinguts en el model I i II, s'observa que per al model II, el resultat del coeficient de difusió es troba dins l'interval de D_{eff} del model III, mentre que el model I, presenta un valor per sobre els altres dos models.

A la figura 19 s'han representat els resultats experimentals de les corbes d'assecat a 40, 60 i 80°C i les cinètiques simulades mitjançant el model III. Els resultats obtinguts mostren una bona capacitat de simulació de les corbes d'assecat. Pareix ésser que s'obtenen millors resultats que els que s'obtingueren a partir dels models I i II.

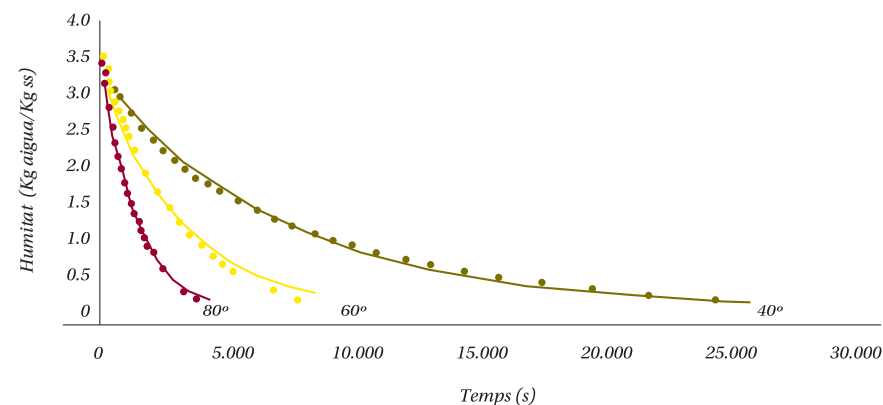


Figura 19. Comparació entre les cinètiques d'assecat de pell de taronja de les corbes experimentals i les estimades amb el model III, corresponent a l'expressió 27, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 40, 60 i 80°C.

Per avaluar la capacitat de simulació del model III es va representar el resultat de les cinètiques simulades pel model III juntament amb els resultats de les corbes experimentals obtingudes a unes condicions diferents de les que es varen utilitzar per identificar els paràmetres del model, a 30, 50 i 70°C.

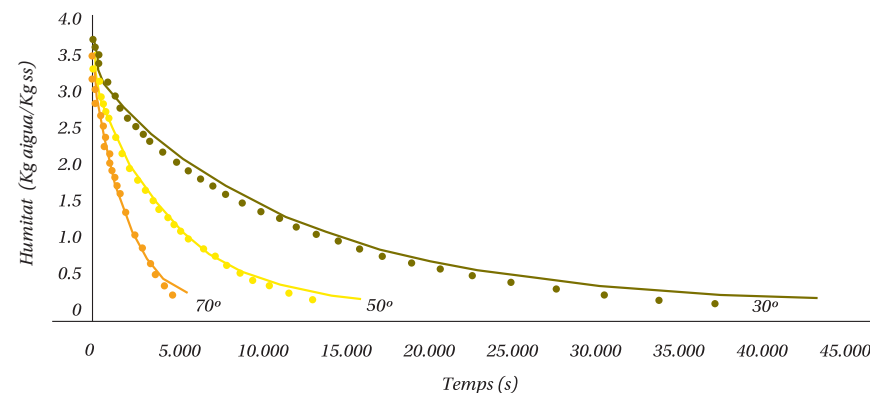


Figura 20. Comparació entre les cinètiques d'assecat de pell de taronja de les corbes experimentals i les estimades amb les expressió 27 del model III, per les experiències realitzades amb aire d'assecat a 30, 50 i 70°C.

Els resultats de la representació, mostren com per l'expressió 27, el model s'ajusta bé en tot el rang de temperatures. A simple vista pareix ésser que les simulacions a partir del model III s'ajusten més a les corbes experimentals que els models I i II.

Per confirmar aquestes conclusions, extretes dels resultats gràfics, es recorre a l'avaluació del model a partir del percentatge de variació, valors numèrics que faciliten la interpretació i la comparació dels resultats.

A la taula 15 es presenten els resultats del percentatge de variància explicada pel model III entre els valors simulats i els resultats obtinguts experimentalment per a les diferents temperatures.

Els resultats d'aquesta taula 15, juntament amb els resultats de les taules 13 i 14 ens permeten comparar els diferents models I, II i III.

Dels resultats numèrics obtinguts, sembla confirmar-se que la simulació de les cinètiques a partir del model III, en incorporar un nou paràmetre en el model, s'aconsegueix una considerable millora de la simulació de les corbes d'assecat en tot l'interval de temperatures, des de 30 fins a 80°C.

Taula 15. Percentatges de variància explicada pel model III calculats mitjançant la comparació dels resultats experimentals i estimats de la humitat mitja. Experiències realitzades a diferents temperatures d'aire d'assecat

Temperatura de l'aire d'assecat (°C)	% de variància
30	99.3
40	99.6
50	99.9
60	98.6
70	98.8
80	99.2
% variància mitja	99.2 ± 0.5

Conclusions després de l'aplicació dels diferents models

Segons els resultats obtinguts dels diferents models, sembla que el model I i II, més senzills, proporcionaren una simulació adequada de les corbes d'assecat. La incorporació d'un efecte al model II va disminuir la capacitat de simulació del model. El model I presenta uns resultats de la simulació de les cinètiques d'assecat de la pell de taronja correctes per fer una primera estimació del coeficient de difusió efectiu.

El model més adequat per a la simulació de corbes d'assecat de pell de taronja per a tot el rang de temperatures, des de 30°C fins a 80°C, és el model III, en el qual es considera que la partícula està sotmesa a l'efecte de la contracció de volum i que el coeficient de difusió és funció de la humitat puntual. Aquest model presenta una millor capacitat de simulació. Per tant, pareix ésser que la incorporació d'un tercer paràmetre en el model que introdueixi la variació d'humitat permet la possibilitat de millorar la modelització del procés d'assecat de pell de taronja.

Segons els resultats, es pot concloure que tant l'efecte de la contracció de volum a què està sotmesa la partícula com la variació del contingut d'humitat durant el procés d'assecat no ha d'ésser menyspreada per a obtenir una simulació bona i ajustada el més possible a la realitat.

Molts autors també han rellevat la importància de l'efecte de la contracció de volum com un aspecte fonamental a l'hora de modelitzar un procés de deshidratació; Madamba i col. (1994) en l'assecat d'all; Ratti (1994) en patates, pomes i pastanagues; Simal i col. (1998) en bròquil; Azzouz i col. (2002) en pèsols i Mayor i col. (2003) en pastanagues, patates i pomes; entre d'altres. La influència de la variació d'humitat en el coeficient de difusió efectiu també ha estat considerada per diferents autors. Simal i col. (1998) consideraren en bròquil també la influència de la variació de humitat puntual en el coeficient de difusió efectiu; Istadi i Simtopul (2002) també consideraren aquest efecte en la modelització de l'assecat de grans; Reyes i col. (2002) consideraren també, entre d'altres factors, la influència de la variació d'humitat sobre el coeficient de difusió efectiu en l'assecat de pastanagues.

7. El color com a paràmetre de qualitat

Un paràmetre de qualitat per avaluar el producte deshidratat, consisteix en caracteritzar el color i veure les diferències que s'estableixen entre les mostres assecades a diferents temperatures. Es considerarà la mostra liofilitzada com la mostra de referència ja que s'assumeix que la mostra liofilitzada no ha sofert canvis perquè no ha estat sotmesa a cap tractament tèrmic que pugui ocasionar la ruptura d'alguns components de les parets cel·lulars i alterar la seva coloració.

A la figura 21, es relaciona el paràmetre croma enfront a la temperatura d'aire d'assecat. Pel que s'observa, sembla ésser que existeix una degradació del color a mesura que s'allunyen els resultats del color de la mostra liofilitzada.

En general, a baixes temperatures la degradació del paràmetre croma és menor que a altes temperatures semblants a la mostra liofilitzada. Per contra, les mostres d'assecat a 80° i 90°C veuen fortament reduïda la seva ordenada respecte de la liofilitzada, la qual cosa significa que l'assecat a aquesta temperatura suposa una important degradació del color.

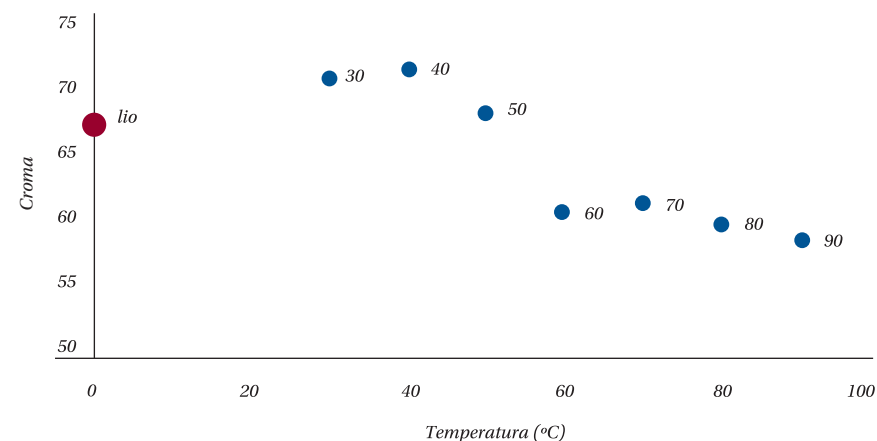


Figura 21. Evolució del paràmetre colorimètric croma enfront a la temperatura d'aire d'assecat i en la mostra liofilitzada.

Es pot també avaluar la degradació de color amb el paràmetre delta. Es pot observar en aquesta figura (figura 22), la representació d'aquest paràmetre enfront a les temperatures d'aire d'assecat. En aquest cas, també és l'assecat a 50°C el que presenta menys canvis de color, i els assecats a altes temperatures a 70°, 80° i 90°C els que presenten degradacions de color més notables.

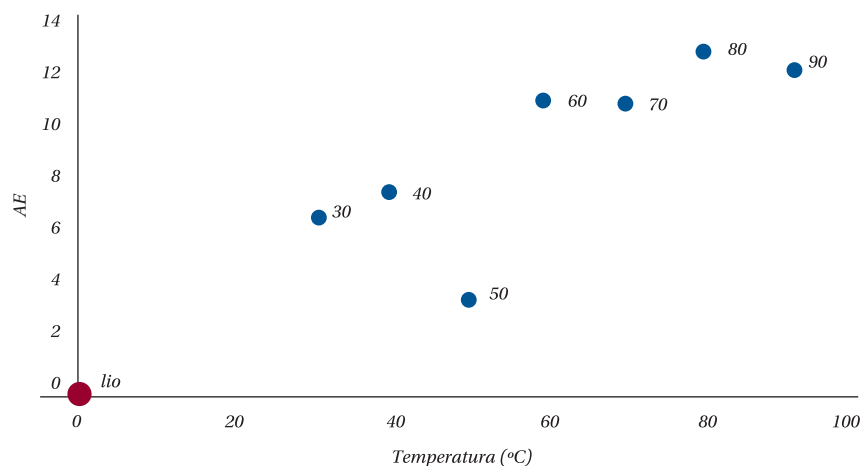


Figura 22. Evolució del paràmetre colorimètric delta enfront a la temperatura de l'aire d'assecat i la mostra liofilitzada.

8. La fibra alimentària

8.1. Contingut en fibra

La importància del consum de fibra dietètica i la seva relació amb la salut es troba, en l'actualitat, totalment acceptada. S'ha dut a terme l'extracció de la fibra de les mostres deshidratades a diferents temperatures i posteriorment molturades.

A les fotografies es pot observar l'aspecte visual de les mostres de fibra (mostres a 30 i 90°C, respectivament).



El rendiment en fibra alimentària es presenta, per a cada temperatura i per a la mostra liofilitzada com %AIR (residu insoluble en alcohol) i percentatge damunt la matèria seca i el producte fresc en la taula 16.

El contingut de fibra alimentària present a la pell de la taronja s'ha obtingut a partir de l'extracció del residu insoluble en alcohol (AIR). Aquest procediment és adient en aquest tipus de vegetal donada l'absència de midó en les cèl·lules de la taronja.

Una mostra liofilitzada s'utilitzà com a control per poder comparar els resultats obtinguts. Les dades obtingudes demostren que la influència de la temperatura d'assecat fou mínima sobre el contingut de fibra. Els percentatges de fibra obtinguda per a la pell de taronja no presenten diferències significatives entre les diferents mostres.

Els tractaments a elevades temperatures poden degradar els polisacàrids pèctics, components molt apreciats de la fibra dietètica. Si bé, en el cas de la taronja, no s'observà aquest efecte, el qual pot ser indicatiu de la resistència de la fibra de taronja davant els tractaments tèrmics al que fou sotmesa.

Taula 16. Rendiment en fibra alimentària de la pell de taronja deshidratada

T (°C)	Humitat pell inicial	% AIR	% matèria seca	% pell
30	77.95	41.12	50.54	11.14
40	77.95	38.71	40.75	8.75
50	77.95	42.53	50.02	11.03
60	77.95	42.10	47.28	10.42
70	77.95	44.33	49.07	10.82
80	77.95	42.33	47.53	10.48
90	77.95	45.18	51.20	11.29
lio	79.72	48.32	48.32	10.65

El fet que les variacions en el contingut total de fibra siguin mínimes no reflecteix les possibles alteracions estructurals que els polisacàrids que integren aquesta fracció poden haver sofert. Per determinar els possibles

canvis en les conformacions estructurals dels polímers es poden determinar algunes propietats fisicoquímiques relacionades, aquestes propietats es coneixen amb el nom de propietats funcionals.

8.2. Propietats funcionals

Una mesura per avaluar la qualitat final de pell de taronja consisteix en caracteritzar la qualitat de la fibra de la pell de taronja després de ser deshidratada. La composició química, l'anatomia i les característiques fisicoquímiques de les fibres influeixen en els valors de les seves propietats funcionals. Les fibres compostes per cèl·lules de les parets primàries presenten valors més elevats que les fibres d'aquelles que també han desenvolupat la paret secundària. El processat del producte, com l'assecat, provoca l'alteració de les propietats físiques de la matriu de fibra, afectant a les seves propietats d'hidratació (Guillon & Champ, 2000).

El procés de deshidratació pot alterar l'estructura de la pell de taronja, modificant les seves propietats fisicoquímiques. Amb la finalitat d'avaluar els possibles canvis en les propietats funcionals, s'han mesurat les propietats de capacitat de retenció d'aigua (WRC), la capacitat de retenció de lípids (FAC) i l'inflament (SW).

S'ha pres com a referència una mostra de pell de taronja liofilitzada, ja que aquest mètode preserva la matriu de la paret cel·lular, mentre que l'aplicació de calor en les altres mostres, pot ocasionar la ruptura d'alguns components de la paret cel·lular dels polisacàrids, modificant les propietats funcionals de la fibra.

A la bibliografia es troben dades de diferents autors que han estudiat les propietats de la fibra en diferents productes, recopilant valors sobre les propietats d'hidratació i de la capacitat de retenció de lípids (taula 17).

Els valors d'aquestes propietats depenen, en gran mesura, del tipus de vegetal analitzat. Així, les fruites i hortalisses presenten, en general, valors més elevats per a les propietats d'hidratació que els cereals. En canvi, els cereals solen presentar una major capacitat de retenció de lípids que les fruites i hortalisses. Malgrat això, és important diferenciar els resultats obtinguts corresponents a mostres fresques dels valors, els

quals s'obtenen a partir de les mostres que han estat sotmeses a qualche tipus de tractament tèrmic.

El calor, generalment, provoca canvis en la relació de fibra soluble/fibra insoluble, modificant alhora les propietats funcionals.

Taula 17. Propietats funcionals: inflament, capacitat de retenció d'aigua i capacitat de retenció de lípids per diferents fibres alimentàries

Font de fibra	Inflament (mL/g) ¹	Retenció d'aigua (g/g) ²	Retenció de lípids (g/g) ³	Observacions	Referència
Canya de sucre	22.8	13.1		Assecat suau	Guillon i col., 1998
	27.6	14.0		Assecat dràstic	Guillon i col., 1998
Cítrics	15.7	10.4		Fresca dià. 540 µm	Auffert i col., 1994
	15.6	10.9		Fresca 400 µm	Auffert dià. i col., 1994
	13.3	8.6		Fresca dià. 235 µm	Auffert i col., 1994
	9.6	6.9		Fresca dià. 540 µm	Cloutour, 1995
Poma	8.6	5.5		Fresca dià. 240 µm	Cloutour, 1995
	16.9	12.8	1.3	Assecat 40°C dià. <100 µm	Femenia i col., 1997
Col-i-flor (flor)	4.2	5.7	0.9	Assecat 75°C dià. <100 µm	Femenia i col., 1997
	17.5	13.4	2.1	Assecat 40°C dià. <100 µm	Femenia i col., 1997
Col-i-flor (tija)	8.7	9.1	1.2	Assecat 75°C dià. <100 µm	Femenia i col., 1997
	7.4	5.6		Fresc	Ponne i col., 1998
Blat bran ⁴	9.0	4.4		Extrusionat	Ponne i col., 1998
		4.9	4.5	Assecat dià. 600 µm	Azizah & Luan, 2000

(1). Expressa els mil·lilitres d'aigua per gram de fibra assecada.

(2). Expressa els grams d'aigua retinguda per gram de fibra assecada.

(3). Expressa els grams de lípids retinguts per gram de fibra assecada.

(4). S'utilitza el mot bran, d'origen anglès per descriure el segó, que correspon a la clovella del gra de cereal i està constituïda per teguments, germen, aleurona i l'endosperma del gra.

En general, una major proporció de fibra insoluble implica una major capacitat d'inflament, probablement perquè s'incrementa la seva porositat.

L'assecat pot influenciar fortament les propietats de la fibra, degut al col·lapse de les parets cel·lulars, que origina un canvi en la porositat de la fibra i en les propietats d'hidratació (Guillon & Champ, 2000).

En el present treball, s'ha estudiat la variació de les propietats de la fibra assecada a diferents temperatures d'aire d'assecat. La relació entre aquestes tres propietats; WRC, FAC i SW, mesurades per a les mostres deshidratades a diferents temperatures d'aire d'assecat i els valors de la mostra liofilitzada estan representats a les figures 23, 24 i 25.

8.2.1. Propietats d'hidratació de la fibra

Durant el processat, en aquest cas, durant l'operació d'assecat, les propietats fisicoquímiques originals dels productes frescos poden sofrir modificacions substancials. En particular, els polisacàrids que formen les parets cel·lulars de fruites poden veure alterada tant la seva composició química com la conformació estructural. Aquestes modificacions poden repercutir sobre les propietats nutricionals derivades de la fibra dietètica, ja que la fibra està constituïda principalment per aquests polisacàrids (Femenia, 1999).

a) Inflament

El processat a diferents temperatures d'aire d'assecat influeix clarament sobre la capacitat d'inflament de la fibra, tal i com s'observa a la figura 23.

A temperatures elevades, especialment a 90°C, l'inflament minva notablement, assolint només un valor de 20.9 mL/g de fibra. Aquest fet es deu a que a temperatures elevades, existeixen reaccions que degraden la fibra, alterant-ne la composició i estructura, i per tant, les propietats. A 30°C, també es nota la influència del llarg temps d'assecat, ja que un llarg període d'assecat provoca també canvis en l'estructura de la fibra, en aquest cas, assoleix un valor de 21.1 mL/g

de fibra. Els valors màxim d'inflament s'obtenen a 50° i a 60°C, amb uns valors que se situen als 21.6 mL/g de fibra. Sembla que, a baixes temperatures la fibra es veu afectada a causa del llarg temps d'assecat, mentre que a altes temperatures, la fibra es degrada perquè a aquesta temperatura esdevenen reaccions de deteriorament de la fibra. De totes formes, cal remarcar que s'està parlant d'una escala força gran, i en realitat, aquestes diferències no són massa remarcables.

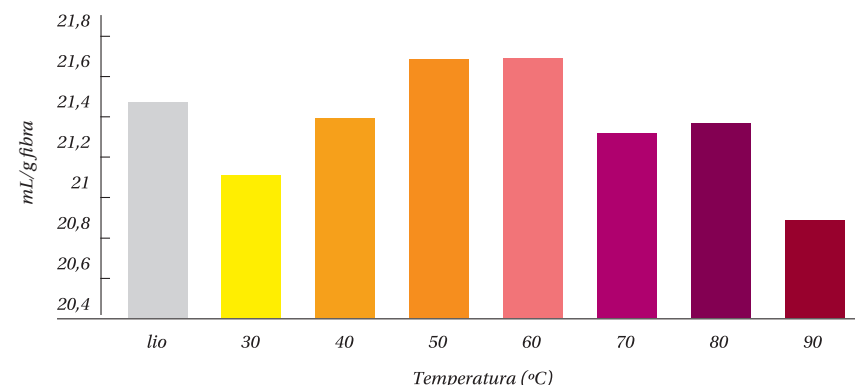


Figura 23. Efectes de l'inflament de la fibra de pell de taronja a diferents temperatures.

Si comparem les dades recopilades a la taula 17 per diferents fibres alimentàries amb els resultats obtinguts de la fibra de pell de taronja, s'observa que els valors d'inflament se situen dins el conjunt de valors que presenten les fibres de fruites, superant les hortalisses i els cereals. L'inflament de la pell de taronja presenta uns valors considerablement superiors als de la resta de fruites, exceptuant la canya sucrera que es troba sensiblement per sobre de la resta de fruites.

b) Capacitat de retenció d'aigua

Els valors obtinguts de la capacitat de retenció d'aigua són similars a les diferents temperatures. De totes maneres, si perfilam els resultats obtinguts, es veu una certa disminució d'aquesta capacitat a mesura que augmenta la temperatura de l'aire d'assecat.

A l'igual que l'inflament, aquest fet es deu a què a mesura que incrementa la temperatura d'assecat, la fibra es degrada i per tant, es veuen afectades les seves propietats funcionals.

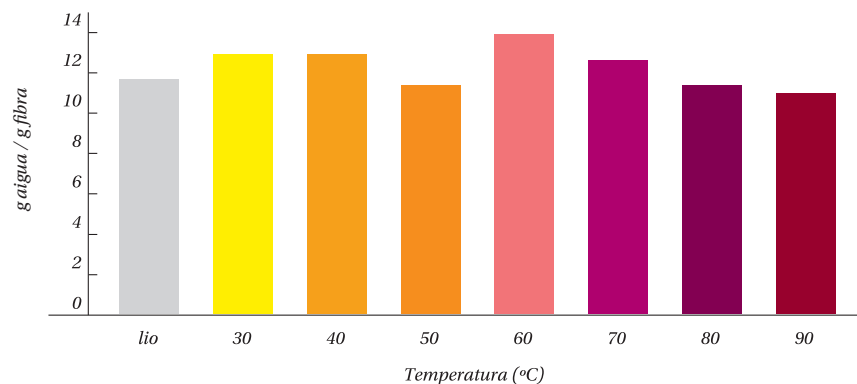


Figura 24. Capacitat de retenció d'aigua de la fibra de pell de taronja a diferents temperatures.

A 60°C, s'obté el valor més gran d'aigua retinguda per la fibra, adquirint un valor de 13.8 g aigua/g de fibra assecada. En canvi, a 90°C la quantitat d'aigua retinguda és de 11.1 g aigua/g fibra.

La capacitat de retenció d'aigua de la pell de taronja és similar als valors de capacitat de retenció que presenten els cítrics en general i la canya sucrera, superant altres fruites i hortalisses com la poma i la col-i-flor, i també per sobre dels cereals, el blat i l'arròs bran.

8.2.2. Propietats relacionades amb l'absorció de molècules orgàniques

a) Capacitat de retenció de lípids

L'efecte de la temperatura de l'aire d'assecat sobre la fibra es percep més clarament que en les propietats anteriors. En aquest cas, a temperatures més baixes i més altes, com són a 30° i 40°C i a 90°C, respectivament, la fibra es degrada com a conseqüència d'un llarg temps d'assecat, en els primers casos, o bé, com a conseqüència d'una temperatura massa elevada en què s'inicien les reaccions de degradació de la fibra.

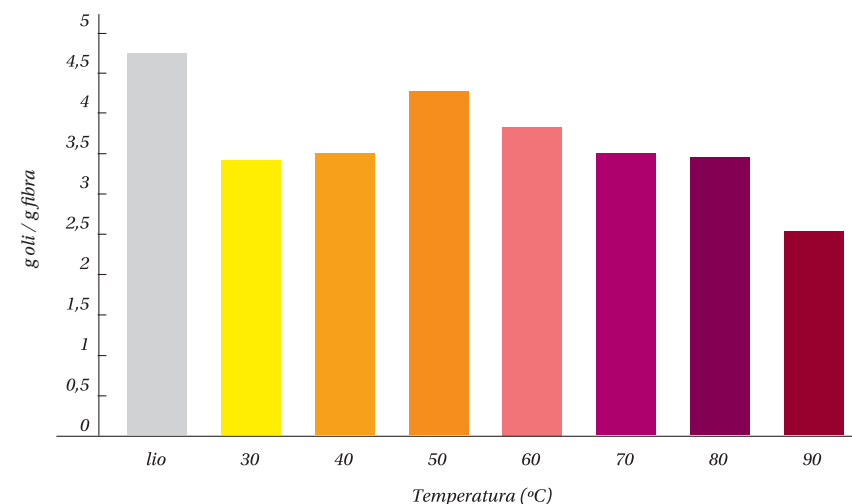


Figura 25. Capacitat de retenció de lípids de la fibra de pell de taronja a diferents temperatures.

La capacitat de retenció de greixos a diferents temperatures d'aire d'assecat és sensiblement més baixa que la mostra que prenem com a referència, la mostra liofilitzada que es considera que presenta les mateixes propietats que mostra fresca.

A la vegada, per les diferents temperatures d'aire d'assecat, el gràfic de la figura 25 presenta un pic a 50°C, en què s'assoleix el valor màxim adquirint

un valor de 4.2 g oli/g fibra. Mentre que, a mesura que s'incrementa la temperatura, el valor d'aquesta propietat disminueix considerablement, especialment a 90°C, en què el valor que la capacitat de retenció de greixos assoleix es redueix en aproximadament un 43% respecte el valor que aconsegueix a 50°C. D'altra banda, si la temperatura d'aire d'assecat és massa baixa, també es redueix la capacitat de retenció de greixos, encara que, en aquest cas, en menor mesura. Existeix, per tant, una notable influència de la temperatura sobre aquesta propietat.

En comparació amb la capacitat de retenció de lípids que presenta la col·li-flor, la pell de taronja reté una quantitat de lípids per gram de fibra més elevada, per qualsevol temperatura, mentre que en comparació amb l'arròs bran, els resultats que presenten són similars.

8.3. El color de les preparacions de fibra

Una altra mesura per avaluar la qualitat de la fibra un cop deshidratada, consisteix en la caracterització colorimètrica de la fibra de pell de taronja assecada a diferents temperatures. Anàlogament a la caracterització colorimètrica de la pell de taronja assecada, s'ha pres com a referència la mostra liofilitzada, ja que, com s'ha suposat en la pell de taronja, la mostra liofilitzada no està sotmesa a cap tractament tèrmic i, per tant, no ha sofert degradació de color.

A la figura 26 es mostren els resultats obtinguts de la mesura del croma de la fibra de pell de taronja. Com pot observar-se, en general a baixes temperatures, 30°, 50° i 60°C, excepte a 40°C, la variació d'aquest paràmetre és lleugerament inferior a la degradació que pateix la fibra a altes temperatures és, per tant, més important la influència de la temperatura que la duració del temps de deshidratació.

A 30°C, la degradació és mínima i el color que presenta és molt proper al color que presenta la mostra liofilitzada.

Si avaluem el paràmetre delta, representat a la figura 27, s'observa la mateixa tendència que en el cas del croma. A llargs períodes d'assecat, la degradació del color de la fibra de pell de taronja és sensiblement inferior

a la que sofreix a altes temperatures d'aire d'assecat. En aquest cas, també s'observa com la mostra assecada a 40°C segueix un comportament diferent.

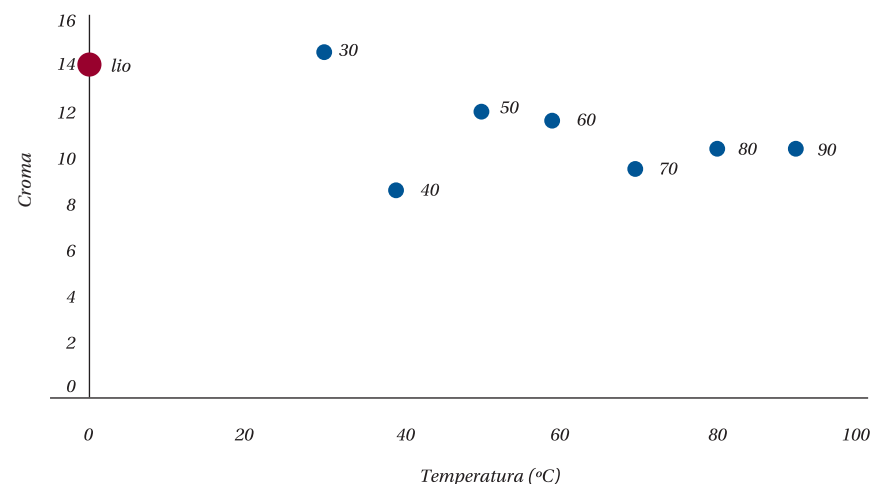


Figura 26. Variació del paràmetre colorimètric croma vs. la temperatura d'aire d'assecat i la mostra liofilitzada.

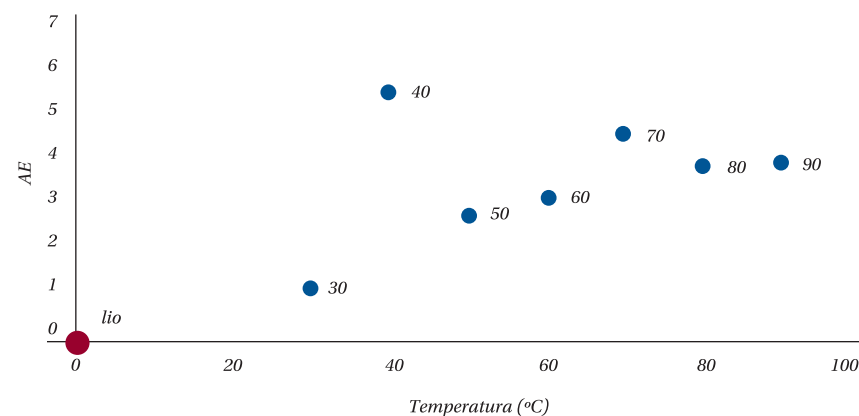


Figura 27. Variació del paràmetre colorimètric delta vs. la temperatura d'aire d'assecat i la mostra liofilitzada.

8.4. Incorporació de concentrats de fibra en diferents productes alimentaris

Els concentrats de fibra alimentària obtinguts a partir de la deshidratació de la pell de taronja foren utilitzats com a suplement de dos productes alimenticis; un líquid: el iogurt, i un segon format per una matriu sòlida: l'hamburguesa. Amb aquest nou ingredient, les qualitats nutricionals d'ambdós productes milloren pel fet de l'addició d'un component que inicialment no s'hi trobava present com és la fibra. Aquesta és la base dels anomenats aliments funcionals. L'èxit de la incorporació dels suplementes depèn no tan sols de paràmetres tècnics, sinó també de paràmetres purament hedonístics, per tant les noves formulacions foren analitzades per un jurat de tast amb la finalitat de jutjar la potencialitat de l'addició del nou ingredient

8.4.1. Fases líquides: el iogurt

La incorporació dels concentrats de fibra al iogurt presentà un problema inicial de granulositat. Aquest es pogué resoldre a partir de la reducció de la mida de partícula del suplement de fibra. Des d'un punta de vista organolèptic, l'addició de fibra fou avaluada positivament pel jurat de tast. Alguns atributs com l'aroma a taronja de la nova mostra fou del grat de la major part del jurat.

8.4.2. Fases sòlides: l'hamburguesa

La incorporació de fibra dintre de la formulació de l'hamburguesa suposa augmentar el valor nutricional d'un producte a vegades no massa ben vist dintre del camp de la nutrició. No tan sols augmenta el valor nutricional per la presència de la fibra dietètica, sinó també pel fet que la capacitat de retenció de lípids de la fibra de pell de taronja pot reduir el contingut efectiu de grasses d'aquest producte. Segons els informes del jurat de tast, els resultats de les proves realitzades indiquen la possibilitat d'addicionar fibra d'aquest tipus si bé s'ha de mantenir un control rigorós de la dosi, ja que l'aroma de pell de taronja pot resultar estrany i fer que el producte resultant sigui rebutjat.

En general, les proves inicials realitzades amb els esmentats productes suggereixen la possibilitat de dur a terme la incorporació dels concentrats de fibra de pell de taronja de forma exitosa tant en productes líquids com en productes sòlids.

CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts en la present investigació donen suport a la viabilitat d'utilitzar taronges de la varietat *canoneta* (residus i/o excedents) com a matèria primera per elaborar suplementes de fibra dietètica, amb el potencial de ser incorporats a diferents productes de la indústria alimentària.

- 1) La taronja *canoneta* conté un 6,2% de fibra alimentària, el qual fa que es tracti d'un fruit amb un contingut important de fibra.
- 2) La polpa conté un 3,2% de fibra alimentària, mentre que la pell, principal subproducte de la taronja, en conté un 10,9%, el qual fa que sigui un subproducte potencialment utilitzable com a font de fibra.
- 3) S'han calculat les isoterms d'equilibri corresponents a la pell de taronja *canoneta*. Els tres models avaluats (Halsey, Oswin i GAB) permeten estimar correctament l'activitat de l'aigua de la pell de taronja a 25°C, si bé el model de GAB proporciona la simulació més acurada, amb un major percentatge de variància explicada.
- 4) S'ha avaluat la contracció de volum que experimenta la pell de taronja durant el procés d'assecat. La variació de l'espessor de la pell de taronja presenta un comportament lineal respecte al contingut d'humitat.
- 5) S'han dut a terme experiències de deshidratació de pell de taronja a diferents temperatures d'aire d'assecat, diferents geometries i diferents grandàries de partícula.
- 5.1) Les corbes d'assecat corresponents a geometries cilíndrica i paral·lelepèdica foren semblants, si bé en el cas de la cilíndrica, un menor diàmetre suposa un increment de la velocitat d'assecat.

- 5.2) La temperatura d'assecat sí mostrà una notable influència sobre les corbes d'assecat en tot l'interval de temps estudiat (des de 30°C a 90°C).
- 6) Modelització de les corbes d'assecat. El model més adequat per a la simulació de corbes d'assecat de pell de taronja per tot l'interval de temperatures estudiat, des de 30°C fins a 80°C, és el model en què es considera que la partícula està sotmesa a l'efecte de la contracció de volum i que el coeficient de difusió és funció de la humitat puntual. Aquest model presenta una millor capacitat de simulació. La incorporació d'un tercer paràmetre en el model que introdueixi la variació d'humitat permet la possibilitat de millorar la modelització del procés d'assecat de pell de taronja.
- 7) La temperatura d'assecat també exercí una notable influència sobre el calor de les mostres. Així, la mostra assecada a 50°C oferí els menors canvis de coloració en comparació a una mostra liofilitzada (tractament control). Tant l'assecat a menor temperatura (el qual incrementa el temps d'assecat) com a major (tractament més agressiu) provocaren major canvis; els quals disminuïren la qualitat de les mostres deshidratades.
- 8) Influència de la temperatura d'assecat sobre el contingut i la qualitat de la fibra alimentària de la pell de taronja.
- 8.1) La temperatura d'assecat no afectà de forma significativa el contingut total de fibra isolada de la pell de taronja.
- 8.2) En canvi, sí cal tenir en compte l'efecte sobre la qualitat de la fibra com ho demostra el fet de les importants variacions observades en les propietats funcionals derivades dels polisacàrids que componen la fracció fibrosa
- 9) Incorporació de fibra alimentària dins d'aliments. Les primeres experiències basades en la incorporació de concentrats de fibra com a ingredient de productes tant sòlids (hamburguesa) com líquids (iogurt) foren avaluades positivament pel jurat de tast.

PUBLICACIONS CIENTÍFIQUES GENERADES

El treball realitzat en el marc d'aquest projecte d'investigació ha culminat amb la publicació de dos articles a les revistes:

Autors: Garau, M.C., Simal, D.S., Femenia, A., Rosselló, C.

Títol: Drying of orange skin: drying kinetics modelling and functional properties.

Revista: Journal of Food Engineering.

Volum: 75

pàgs: 288-295.

Any: 2005

Lloc de publicació: EUA

Autors: Garau, M.C., Simal, S., Rosselló, C., Femenia, A.

Títol: Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (citrus aurantium v. canoneta) by-products.

Revista: Food Chemistry, in press.

Any: 2007

I la participació en els següents congressos:

Autors: Femenia, A., Garau, C., Castell, A., González, R.

Títol: Fibre concentrates with antioxidant properties from citrus by-products: Effects of air-drying temperature.

Congrés: 15th International Drying Symposium (IDS 2006).

Lloc: Budapest (Hungria)

Any: 2006

Autors: Garau, M.C., Cañellas, J., Girona, M.A., Berna, A., Simal, S.

Títol: Fibra de naranja como ingrediente funcional en iogures naturales.

Congrés: CESIA. IV Congreso de Ingeniería y Tecnología de Alimentos.

ISBN: 84-611-3263-7

Lloc: Córdoba (Espanya).

Any: 2006

BIBLIOGRAFIA

- ABDUL-HAMID, A.; LUAN, Y. S. (2000). "Functional properties of dietary fibre prepared from deffated rice bran". *Food Chemistry* vol. 68: p. 15-19.
- AOAC (1990). "Official methods of analysis of the Association Analytical Chemist. N° 934.06". Arlington, USA.
- ARLABOSSE, P.; RODIER, E.; FERRASSE, J.H.; CHAVEZ, S.; LECOMTE, D. (2003) "Comparison between static and dynamic methods for sorption isotherm measurements. *Drying technology* vol. 21, núm. 3: p. 479-497.
- AUFFERT, A.; RALET, M. C.; GUILLON, F.; BARRY, J. L.; THIBAUT, J. F. (1994). "Effect of grinding and experimental conditions on the measurement if hydration properties of dietary fibres". *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* vol. 27: p. 166-172.
- AZIZAH, A-H.; LUAN, Y. S. (2000). "Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran". *Food chemistry* vol. 68: p 15-19 (2000).
- AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W., BELGHITH, A. (2002). "Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes". *Journal of Food Engineering* vol.55: p. 323-330.
- BESTARD, M.J.; SANJUAN, N.; ROSSELLÓ, C.; MULET, A.; FEMENIA, A. (2001)."Effect of storage on the cell wall components of broccoli (Brassica oleracea L. Var. Italica) plant tissues during rehydration". *Journal of Food Engineering* vol.48: p. 317-323 (2001).
- CALLIZO, J. (2001). "Deterioro del cremogenado de melocotón rojo industrial durante el almacenamiento a diferentes temperaturas". Projecte final de carrera. Departament de Tecnologia d'aliments. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- CÀRCEL, J.A. (2003). "Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de materia". Tèsi doctoral. Departament de Tecnologia d'Aliments.Universitat de Valencia.
- CHANG, S.C.; LEE, M.S.; LIN, C.J.; CHEN. M.L.(1998). "Dietary fiber content and composition of fruits in Taiwan". *Asia Pacific Journal of clinical Nutrition* vol.7: p 206-210.

CHUA, K.J.; MUJUMDAR, A.S.; HAWLADER, M.N.A; CHOU, S.K., HO, J.C. (2001)."Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour". *Food of research International* vol.34: p. 721-731.

CLOUTOUR, F. (1995) "Caractérisation des fibres alimentaires: influence sur leur fermentation in vitro par la flore digestive de l'homme". Tèsi doctoral. Facultat de ciències. Universitat de Nantes.

COHEN, J.S.; YANG T.C.S.(1995). "Progress in food dehydration". *Trends in Food Science & Technology* vol.6: p. 20-25.

DANDAMRONGRAK, R.; YOUNG, G.; MASON, R. (2002). "Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models". *Journal of Food Engineering* vol. 55: p. 139-146.

DEMIREL, D., TURHAN, M. (2003) "Air drying of Dwarf cavendish and gros michel banana slices". *Journal of Food Engineering* vol. 59: p. 1-11.

DOYMAZ, I. (2004) *Drying kinetics of white mulberry*. *Journal of Food Engineering* vol. 61, núm. 3: p. 341-346.

DOYMAZ, I.; PALA, M. (2003) "The thin-layer drying characteristics of corn. *Journall of Food Engineering* vol. 60, núm. 2: p. 125-130.

FEMENIA, A.; LEFEBVRE, A. C.; THEBAUDIN, J.Y.; ROBERTSON, J.A, BOURGEOIS, C.M. (1997). "Physical and sensory properties of model foods suplementes with cauliflower fiber". *Journal of food science* vol. 62, núm 4: p. 635-639.

FEMENIA, A. (1999). "Influencia del procesado y el almacenamiento sobre la estructura y la composición de las paredes celulares". Tèsi doctoral, Departament de química. Universitat de les Illes Balears.

GORINSTEIN, S.; MARTÍN-BELLOSO, O.; PARK, Y-S.; HARUENKIT, R.; LOJEK, A.; CÍZ, M.; CASPI, A.; LIBMAN, I.; TRAKHTENBERG, S. (2001) "Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits". *Food Chemistry* vol. 74: p. 309-315.

GUILLON, F.; CHAMP, M. (2000). "Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing human psicology". *Food resarch international* vol. 33: p. 233-245.

IGUAZ, A.; SAN MARTÍN, M.B.; MATÉ, J.I.; FERNÁNDEZ, T.; VÍRSEDA, P. (2003). "Modelling effective moisture diffusivity of rough rice (Lido cultivar) at low drying temperatures". *Journal of Food Engineering* vol. 59: p. 253-258.

JIE, W.; LITE, L.; YANG, D. (2003). "The correlation between freezening point and soluble solids of fruits". *Journal of Food Engineering* vol. 60: p. 481-484.

ISTADI, I.; SITOMPUL, J.P. (2002). "A comprehensive mathematical and numerical modeling of deep-bed grain drying". *Drying technology* vol. 20, núm. 6: p. 1123-1142 .

KARATHANOS, V.T.; BELESSIOTIS, V.G. (1999). "Aplicattion of a thin-Layer Equation to Drying Data Fresh and Semi-dried Fruits". *J. Agric. Engng Res.* vol.74: p. 355-361.

KONDO, N.; AHMAD, U.; MONTA, M.; MURASE, H. (2000). "Machine vision based quality evaluation of *Iyokan orange fruit using neural networks*". *Computers and electronics in agriculture* vol. 29: 135-147.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering* vol.61: p. 173-173.

LEWICKI, P.P. (2004). Water as determinant of food engineering properties. A review. *Journal of food engineering* vol. 61: p. 483-495.

LUCAS, A.M. (2002). "Les activitats agràries, pesqueres i forestals a les Illes Balears". *Monografies de la Conselleria d'Agricultura i Pesca*. Espanya.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. (1994) "Shrinkage, density and porosity of garlic during drying". *Journal of Food Engineering* vol. 23: p. 309-319 (1994).

MAPA, 2003. Anuario 2001 de estadística agroalimentaria (2003). Ministerio de Agricultura, Pesca i Alimentación.

MARINOS-KOURIS D, MAROULIS Z.B. (1995). "Transport Properties in the drying of solids en *Handbook of industrial drying editat per Mujumdar* A S. Marcel Dekker. New York.

MAYOR, L. SERENO, A.M. (2004). "Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review". *Journal of Food Engineering* vol. 61, núm. 3: p. 373-386.

MCCABE, W.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. (1991). "Operaciones básicas de Ingeniería Química". McGraw-Hill. Espanya.

MCCANCE; WIDDOWSON'S (1994). "The composition of foods. Royal Society of chemistry". Cambridge.

PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. (2002). "Thin-layer modelling of black tea drying process". *Journal of Food Engineering* vol. 52: p. 349-357.

PARK, K.J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F.P.R. (2002). "Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.)". *Journal of Food Engineering* vol. 51: p. 193-199.

PÉREZ-MARGARIÑO, S.; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, M.L. (2003). "Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELAB parameters in red wine". *Food Chemistry* vol. 81: p. 301-306.

PONNE, C.T.; ARMSTRONG, D.R.; LUYTEN, H. (1998). "Influence of dietary fibres on textural properties of food" en Guillon i col., *Proceedings of the PROFIBRE Symposium, Functional properties of non digestible carbohydrates*: p. 61-65.

RAHMAN, M.S.; PERERA, C.O.; THEBAUD, C. (1998). "Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas". *Food Research International* vol. 30, núm. 7: p. 485-491.

RAMULU, P.; RAO, P.U. (2003). "Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits". *Journal of food composition and analysis* vol. 16: p. 677-685.

RATTI, C. (1994). "Shrinkage During Drying of Foodstuffs, *Journal of Food Engineering* vol. 23: p. 91-105.

REDONDO, A.; DE LA HOZ, L.; ORDOÑEZ, J.A. (1996). "Fibra alimentaria: propiedades e interés nutricional". *Alimentación, equipos y tecnología* vol. Enero-Febrero.

REYES, A.; ALVAREZ, P.I.; MAQUARDT, F.H. (2002). "Drying of carrots in a fluidized bed. Effects of drying conditions and modelling". *Drying technology* vol. 20, núm. 7: p.1463-1483.

ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L.R. (1986). "Water activity: Theory and applications to food". Basic symposium Series. New York.

ROSSELLÓ, C.; BESTARD, I.; CAÑELLAS, J.; FEMENIA, A.; SIMAL, S. (2003). "Conèixer i gaudir els aliments de les Illes Balears". Palma.

SABAREZ, H.T.; PRICE, W.E. (1999). "A diffusion model for prune dehydration". *Journal of Food Engineering* vol. 42: p. 167-172.

SALVÀ-TOMÀS, P.A. (2003). "Análisis de la agricultura Balear. Evolución y situación actual" en *Libro blanco de la agricultura y el desarrollo rural*. Ponència.

SANTALLA, E.M.; MASCHERONI, R.H. (2003). "Equilibrium moisture characteristics of high oleic sunflower seeds and kernels. *Drying technology* vol. 21, núm. 1: 147-163.

SENADEERA, W.; BHANDARI, B.R.; YOUNG, G.; WIJESINGHE, B. (2003). "Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of food engineering* vol. 58: p. 277-283.

SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C.; BERNAA, A.; MULET, A. (1998) "Drying of Shrinking Cylinder-shaped Bodies". *Journal of Food Engineering* vol. 37: 423-435.

SIMAL, S.; FEMENIA, A.; LLULL, P.; ROSSELLÓ, C. (2000). "Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties". *Journal of Food Engineering* vol. 43: p. 109-114.

SIMAL, S. (1995). "Modelización del proceso de deshidratación de frutas y hortalizas: efecto de la anisotropía y de la contracción de volumen sobre los parámetros cinéticos". Tèsi doctoral. Departament de química, àrea d'Enginyeria química. Universitat de les Illes Balears.

SIMAL, S.; SANJUAN, N.; CLEMENTE, G.; CÁRCEL, J.A.; GONZÁLEZ, R. (2004). "Influence of ripening stage on the drying curves of kiwi". *Advances in food dehydration*.

SOGI, D.S.; SHIVHARE, U.S.; GARG, S.K.; BAWA, A.S. (2003). "Water Sorption Isotherm and drying Characteristics of Tomato Seeds". *Biosystems Engineering* vol. 84, núm. 3: p. 297-301.

TREYBAL, R.E. (1980). "Operaciones de transferencia de masa". McGraw-Hill. Mexico DF.

VÀZQUEZ, G.; CHENLO, F.; MOREIRA, R. (2001). "Modeling of desorption isotherms of chestnut: Influence of temperature and evaluation of isosteric heats". *Drying technology* vol. 19, núm. 6: p.1189-1199.

VÉLIC, D.; PLANINIÉ, M.; TOMAS, S.; BILIÉ, M. (2003). "Influence of air-flow velocity on kinetics of convection apple drying". *Journal of Food Engineering* vol. 64, núm. 1: p. 97-102.

WAANAMEN, K.M.; LITCHFIELD, J.B.; OKOS, M.R. (1993). "Classification of drying models for porous solids". *Drying technology* vol.11, núm. 1: p. 1-40.

ZARRA, I.; REVILLA, G. (1993). "Pared celular. Estructura y función. *Fisiología y bioquímica vegetal*". McGraw-Hill. New York.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. (1996). "Moisture diffusivity data compilation in Foodstuffs". *Drying Technology* vol. 14, núm. 10: p. 2225-2253.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. (1994). "Moisture diffusivity methods of experimental determination a review". *Drying Technology* vol. 12, núm. 3: p. 483-515.



**Estudi sobre la viabilitat
d'utilitzar els excedents i residus
agrícoles del camp mallorquí
com a fibra dietètica**

ISBN 84-606-4180-3



9 788460 641803



**Govern
de les Illes Balears**

Conselleria d'Agricultura i Pesca i Direcció General d'Agricultura