

UNIVERSITAT DE LLEIDA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA DE LLEIDA

TESI DOCTORAL

TECNOLOGIA POSTCOLLITA DE L'AVELLANA.

ASSECATGE I FRIGOCONSERVACIÓ DE L'AVELLANA
(Corylus avellana L.)

M

UNIVERSITAT DE LLEIDA
Biblioteca



1600124642

(043) "1995" Piq

PIQUE FERRE, MARIA TERESA
Tecnologia d'Alim.
18/10/95

UNIVERSITAT DE LLEIDA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA DE LLEIDA

1600124642 X



Universitat de Lleida
Registre General

19 SET. 1995

E: 3898

S:

TESI DOCTORAL



TECNOLOGIA POSTCOLLITA DE L'AVELLANA.

ASSECATGE I FRIGOCONSERVACIÓ DE L'AVELLANA
(Corylus avellana L.)

Maria Teresa Piqué Ferré
Juny 1995

0110-43360

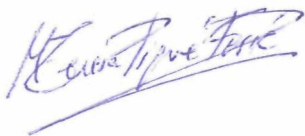
Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

TESIS DOCTORAL

TECNOLOGIA POSTCOLLITA DE L'AVELLANA.
ASSECATGE I FRIGOCONSERVACIÓ DE L'AVELLANA
(*Corylus avellana*, L.).

Tesis presentada per a optar al grau de Doctor Enginyer Agrònom, havent estat dirigida pel Dr. Antonio López Gómez.

La Doctoranda



Maria Teresa Piqué Ferré

El Director de la Tesis



Dr. Antonio López Gómez

Lleida, Juny 1995

*A la memòria del meu padri,
en Pere Ferré Fort,
un home del Camp de Tarragona
que es va dedicar en cor i ànima
al conreu de l'avellaner.*

AGRAÏMENTS

Aquesta Tesi s'ha realitzat al Departament de Tecnologia d'Aliments de l'E.T.S.E.A. de Lleida, i s'engloba dins del projecte d'investigació subvencionat per el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (I.N.I.A.) de títol: *Caracterización de la calidad de la avellana producida en España y evaluación y mejora de la tecnología de secado y conservación*, on han col·laborat els centres de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (I.R.T.A.) de Mas Bové i Cabrils, la Facultat de Farmàcia de la Universitat de Barcelona i el Laboratori Agrari de Cabrils (Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya).

Vull expressar el meu agraïment a les cooperatives La Selva (de La Selva del Camp) i Unió (de Reus) per la seva col·laboració en aquest projecte.

Agraïr a la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (C.I.R.I.T.) de la Generalitat de Catalunya, la beca de Formació d'Investigadors que m'ha otorgat per al desenvolupament d'aquesta Tesi Doctoral.

Al Dr. Antonio López Gómez, Director d'aquesta Tesi, agraïr-li profundament la seva dedicació a aquest treball que ha considerat com a seu propi, aportant els seus coneixements i la seva inestimable visió crítica.

També vull agraïr als membres del Departament de Tecnologia d'Aliments de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, de la Universitat de Lleida, la seva ajuda i suport durant la realització d'aquesta Tesi.

Finalment, manifestar el meu agraïment a totes aquelles persones que dia rera dia m'han donat tot el seu suport i comprensió per a poder dur a terme aquesta Tesi Doctoral: els meus pares, el meu germà Francesc Xavier i els meus amics.

PRÒLEG

La ciència és un estil de pensament i d'acció: precisament el més recent, el més universal i el més profitós de tots els estils. Com davant de tota creació humana, en la ciència hem de distingir entre el treball -investigació- i el seu producte final, el coneixement (Bunge, 1989).

Quan es vol "investigar" la primera qüestió que sorgeix és la de detectar necessitats d'investigació i els criteris de selecció dels temes o problemes (Lafuente, 1982).

Actualment, les necessitats d'investigació en enginyeria, transformació i envasat dels aliments es dirigeixen cap a: incrementar la qualitat i garantir la seguretat del subministrament alimentari, desenvolupar i aplicar els avenços tecnològics que augmenten la competitivitat econòmica, i augmentar la viabilitat ambiental dels processos de fabricació i distribució. Per incrementar la qualitat i garantir la seguretat del subministrament alimentari cal modelar i quantificar processos i propietats. Els tractaments provoquen molts canvis en les propietats biològiques, químiques i físiques dels aliments. Un coneixement bàsic d'aquestes propietats és essencial pel disseny de processos efectius i per reduir al mínim els canvis no desitjats com a conseqüència del tractament. Els estudis sobre la dinàmica de l'aigua en els aliments i els canvis en les seves propietats mecàniques i de difusió són decisius per a comprendre una sèrie de fenòmens en el tractament i conservació dels aliments. Per augmentar la competitivitat econòmica cal desenvolupar noves tecnologies i millorar les que ja existeixen. Les operacions de transferència de massa i de calor són decisives per a molts mètodes de conservació d'aliments; els interessos de la investigació en aquesta àrea inclouen la transferència de massa i de calor durant la deshidratació dels aliments i la qualitat dels aliments a diferents condicions de escalfament i refredament. Una altra prioritat d'investigació és millorar l'eficiència en el disseny dels processos i en les operacions; això es pot aconseguir mitjançant la modelització i simulació d'operacions unitàries, la simulació de processos continus i semicontinus, l'optimització d'operacions unitàries, processos i plantes, etc. (Rizvi *et al.*, 1993).

Donat que el sector de producció d'avellana té una importància social i econòmica manifesta a Catalunya, especialment a la província de Tarragona, i que el coneixement adequat de la qualitat de l'avellana i de la tecnologia postcollita pot contribuir a millorar la competitivitat del sector, i donat que a Espanya no s'han realitzat estudis sistemàtics rigorosos sobre la tecnologia postcollita de l'avellana, aquesta Tesi té com a finalitat avançar en el coneixement tecnològic que permeti determinar les condicions més adequades d'assecat i frigoconservació de l'avellana.

Maria Teresa Piqué i Ferré
Lleida, juny de 1995

RESUM

L'assecatge i emmagatzematge de l'avellana són processos molt importants en la tecnologia postcollita de l'avellana que poden influir en la seva qualitat i idoneïtat per al consum. Aquesta Tesi estudia la cinètica d'assecatge i la influència de les condicions d'assecatge i frigoconservació sobre la qualitat de l'avellana; prèviament, però, es fa un estudi del comportament higroscòpic de l'avellana.

Per a l'estudi del comportament higroscòpic de l'avellana s'han determinat les corbes de rehidratació i les isoterms d'humitat d'equilibri a diferents temperatures. L'equació de Peleg dona un bon ajust a les corbes de rehidratació; mentre que dels diferents models matemàtics als que s'han ajustat les dades experimentals d'humitat d'equilibri, l'equació de G.A.B. és la que prediu millor les isoterms d'humitat d'equilibri de l'avellana.

L'estudi de la influència de les condicions de frigoconservació sobre la qualitat de l'avellana en gra s'ha fet emmagatzemant, durant un any, mostres d'avellana de les varietats *Negret*, *Pauetet* i *Tonda Romana* a temperatures entre 0°C i 10°C i a humitats relatives de 40% i 60%. Per avaluar la qualitat de l'avellana emmagatzemada s'ha determinat l'índex d'acidesa, els coeficients d'extinció K_{232} i K_{270} , el període d'inducció, l'activitat dels enzims lipasa, peroxidasa i polifenoloxidasa, l'evolució del color i l'acceptació organolèptica de l'avellana. Els resultats obtinguts posen de manifest que la conservació de l'avellana en aquestes condicions de frigoconservació és bona.

Per a l'estudi de la influència de les condicions d'assecatge sobre la qualitat de l'avellana s'han realitzat experiències d'assecat amb avellana de la varietat *Negret* en gra i en closca i amb avellana de la varietat *Pauetet* en gra, a temperatures entre 30°C i 80°C, i s'ha determinat el grau d'alteració de la fracció lipídica i l'evolució del color de l'avellana. Els resultats obtinguts indiquen que les temperatures d'assecat superiors a 50°C afavoreixen el desenvolupament dels enranciments hidrolític i oxidatiu.

En darrer terme, s'ha estudiat la cinètica d'assecat de l'avellana ajustant les corbes d'assecat en capa prima a diferents equacions. També s'ha realitzat la validació de l'algoritme de simulació de l'assecat d'avellana en llit profund que utilitza el model de Nelli i l'equació de velocitat d'assecat de Page, mitjançant la realització d'experiències d'assecat industrial d'avellana.

ÍNDIX

Índex de figures	i
Índex de taules	vii
Símbols i abreviatures	xi
1. ANTECEDENTS	1
1.1. Situació del sector de l'avellana	3
1.1.1. L'avellaner. Característiques generals	3
1.1.2. Situació del mercat de l'avellana	7
1.1.2.1. Situació mundial	7
1.1.2.2. Situació a la Comunitat Europea	8
1.1.2.3. Situació a Espanya (Catalunya)	11
1.1.3. Relació entre la qualitat de l'avellana i la seva comercialització	17
1.1.3.1. Qualitat de l'avellana per a consum en fresc	18
1.1.3.2. Qualitat de l'avellana per a industrialització	18
1.2. Tecnologia postcollita de l'avellana	22
1.2.1. Procés de tractament postcollita de l'avellana	22
1.2.2. Emmagatzematge de l'avellana	27
1.2.3. Assecatge de l'avellana	32
1.3. Teoria del comportament de sòlids higroscòpics	38
1.3.1. Rehidratació	38
1.3.1.1. Introducció	38
1.3.1.2. Model de Peleg	41
1.3.2. Isotermes d'humitat d'equilibri	42
1.3.2.1. Introducció	42
1.3.2.2. Equació de B.E.T.	47
1.3.2.3. Equació de Caurie	49
1.3.2.4. Equació de Chung-pfost	50
1.3.2.5. Equació de G.A.B.	51

1.3.2.6. Equació de Halsey	53
1.3.2.7. Equació de Henderson	54
1.3.2.8. Equació d'Oswin	55
1.3.2.9. Equació de Smith	56
1.4. Teoria de l'assecatge en llit profund	57
1.4.1. Simulació de l'assecat en llit profund	57
1.4.1.1. Introducció	57
1.4.1.2. Equacions generals del procés d'assecat	59
1.4.2. Assecat en capa prima. Equacions de velocitat d'assecat	64
1.4.2.1. Introducció	64
1.4.2.2. Equacions de velocitat d'assecat	68
1.5. Relació entre el deteriorament de la qualitat i la tecnologia postcollita	74
1.5.1. Enranciment de l'aliment	76
1.5.1.1. Enranciment hidrolític	76
1.5.1.1.1. Mecanisme de la reacció	76
1.5.1.1.2. Factors de la reacció	77
1.5.1.2. Enranciment oxidatiu	77
1.5.1.2.1. Mecanisme de la reacció	78
1.5.1.2.2. Factors de la reacció	81
1.5.2. Enfosquiment de l'aliment	83
1.5.2.1. Enfosquiment enzimàtic	84
1.5.2.1.1. Mecanisme de la reacció	84
1.5.2.1.2. Factors de la reacció	86
1.5.2.2. Enfosquiment no enzimàtic	86
1.5.2.2.1. Mecanisme de la reacció	87
1.5.2.2.2. Factors de la reacció	88
1.6. Objectius	90
2. MATERIAL I MÈTODES	91
2.1. Pla de treball i disseny de les experiències	93
2.1.1. Pla de treball	93
2.1.2. Disseny de les experiències	94
2.1.2.1. Estudi del comportament higroscòpic de l'avellana	94
2.1.2.2. Estudi de les condicions més adequades de frigoconservació de l'avellana	96

2.1.2.3. Estudi de les condicions més adequades d'assecatge de l'avellana .	97
2.1.2.4. Estudis de modelització i simulació del procés d'assecat de l'avellana en llit profund	98
2.2. Matèria primera	100
2.2.1. Caràcters varietals	100
2.2.1.1. Varietat <i>Negret</i>	101
2.2.1.2. Varietat <i>Pauletet</i>	102
2.2.1.3. Varietat <i>Tonda Romana</i>	103
2.2.2. Caracterització fisico-química de l'avellana	104
2.3. Determinació del comportament higroscòpic de l'avellana	108
2.3.1. Rehidratació	108
2.3.1.1. Material	108
2.3.1.2. Mètode experimental	108
2.3.2. Humitats d'equilibri	108
2.3.2.1. Material	108
2.3.2.2. Instal·lació experimental	109
2.3.2.3. Mètode experimental	110
2.4. Disseny de les plantes pilot de frigoconservació i assecatge	113
2.4.1. Disseny de la planta pilot de frigoconservació	113
2.4.1.1. Disseny de les instal·lacions	113
2.4.1.2. Calibrat de la planta pilot	115
2.4.2. Disseny de la planta pilot d'assecatge	116
2.5. Estudis de simulació del procés d'assecatge de l'avellana en llit profund	119
2.5.1. Model d'assecat en llit profund	120
2.5.2. Càlcul de les propietats de l'aire humit	123
2.5.3. Propietats físiques de l'avellana	125
2.5.4. Mètode de resolució de l'algoritme de simulació	127
2.5.5. Experiències d'assecat d'avellana a nivell industrial	129
2.6. Mètodes analítics	131
2.6.1. Determinació del contingut en humitat	131
2.6.2. Determinació de l'índex d'acidesa	131
2.6.3. Determinació de l'índex de peròxids	132
2.6.4. Determinació dels coeficients d'extinció (K_{232} i K_{270})	132
2.6.5. Determinació del període d'inducció	132
2.6.6. Determinació de l'activitat de l'enzim lipasa	133

2.6.7. Determinació de l'activitat de l'enzim peroxidasa	134
2.6.8. Determinació de l'activitat de l'enzim polifenoloxidasa	134
2.6.9. Determinació del color	135
2.6.10. Anàlisi organolèptica	136
2.7. Tractament estadístic dels resultats	138
3. RESULTATS I DISCUSSIÓ	141
3.1. Comportament higroscòpic de l'avellana	143
3.1.1. Rehidratació	143
3.1.1.1. Resultats experimentals	143
3.1.1.2. Ajust a l'equació de Peleg	143
3.1.2. Isotermes d'humitat d'equilibri	146
3.1.2.1. Resultats experimentals	146
3.1.2.1.1. Isotermes d'adsorció i desorció	146
3.1.2.1.2. Isotermes de sorció	151
3.1.2.2. Modelització dels resultats	151
3.1.2.2.1. Anàlisi estadística aplicada a cada model	154
3.1.2.2.2. Equació de B.E.T.	155
3.1.2.2.3. Equació de Caurie	160
3.1.2.2.4. Equació de Chung-pfost	163
3.1.2.2.5. Equació de G.A.B.	165
3.1.2.2.6. Equació de Halsey	167
3.1.2.2.7. Equació de Henderson	169
3.1.2.2.8. Equació d'Oswin	171
3.1.2.2.9. Equació de Smith	172
3.1.2.2.10. Estudi comparatiu dels diferents models	174
3.2. Influència de les condicions d'emmagatzematge refrigerat sobre la qualitat de l'avellana en gra	181
3.2.1. Evolució de la humitat de l'avellana	181
3.2.2. Alteració de la fracció lipídica	189
3.2.2.1. Índex d'acidesa	189
3.2.2.2. Índex de peròxids	196
3.2.2.3. Coeficients d'extinció (K_{232} i K_{270})	198
3.2.2.4. Període d'inducció	207
3.2.3. Activitat enzimàtica	208
3.2.3.1. Lipasa	208
3.2.3.2. Peroxidasa	212

3.2.3.3. Polifenoloxidasa	215
3.2.4. Evolució del color	218
3.2.5. Acceptació organolèptica	229
3.3. Influència de les condicions d'assecatge sobre la qualitat de l'avellana	235
3.3.1. Alteració de la fracció lipídica	235
3.3.1.1. Índex d'acidesa	236
3.3.1.2. Coeficients d'extinció (K_{232} i K_{270})	237
3.3.1.3. Període d'inducció	238
3.3.2. Evolució del color	240
3.4. Estudis de cinètica d'assecat i simulació del procés d'assecatge de l'avellana en llit profund	245
3.4.1. Resultats experimentals. Corbes d'assecat	245
3.4.2. Ajust de les corbes d'assecat a diferents equacions de velocitat d'assecat ..	251
3.4.2.1. Equació de difusió	251
3.4.2.2. Equació de Puiggali	254
3.4.2.3. Equació de Page	256
3.4.3. Validació de l'algoritme de simulació de l'assecat en llit profund utilitzant el model de Page	260
4. CONCLUSIONS	265
4.1. Comportament higroscòpic de l'avellana	267
4.2. Influència de les condicions d'emmagatzematge refrigerat sobre la qualitat de l'avellana en gra	268
4.3. Influència de les condicions d'assecatge sobre la qualitat de l'avellana	270
4.4. Estudis de cinètica d'assecat i simulació del procés d'assecatge de l'avellana en llit profund	271
5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	273

6. ANEX	291
----------------------	-----

ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 1.1. Distribució de la producció mundial d'avellana	8
FIGURA 1.2. Distribució de la producció d'avellana a la C.E.	9
FIGURA 1.3. Evolució de la producció d'avellana a Espanya, Catalunya i Tarragona	11
FIGURA 1.4. Estructura de la producció final agrícola a Tarragona	14
FIGURA 1.5. Evolució dels preus percebuts pels agricultors (avellana Negret en closca)	14
FIGURA 1.6. Evolució del comerç exterior del sector de l'avellana a Espanya	15
FIGURA 1.7. Països de destí de l'avellana espanyola en 1988-89	16
FIGURA 1.8. Diagrama de flux: RECEPCIÓ I ASSECATGE DE L'AVELLANA EN CLOSCA .	24
FIGURA 1.9. Diagrama de flux: ESCLOSCAT DE L'AVELLANA	25
FIGURA 1.10. Diagrama de flux: ASSECATGE, CALIBRAT I ENVASAT DE L'AVELLANA EN GRA	26
FIGURA 1.11. Calendari de comercialització de l'avellana a Espanya	27
FIGURA 1.12. Evolució de les pèrdues de pes en avellana <i>Tonda Gentile</i> en gra	30
FIGURA 1.13. Esquema d'un assecador discontinu amb aire ambient i amb remogut per avelana en closca	34
FIGURA 1.14. Esquema d'un assecador de cascada	35
FIGURA 1.15. Esquema d'un assecador de bandes múltiples	36
FIGURA 1.16. Capa elemental d'assecat. Variació de les característiques de l'aire d'assecatge i del producte	59
FIGURA 1.17. Esquema del mecanisme de la reacció de l'enranciment oxidatiu	79
FIGURA 1.18. Esquema del mecanisme de la reacció de l'enfosquiment enzimàtic	85

FIGURA 2.1.	Avellana emprada com a matèria primera	100
FIGURA 2.2.	Instal·lació experimental per a la determinació d'humitats d'equilibri	109
FIGURA 2.3.	Corbes d'equilibri: humitat relativa de l'aire en funció de la concentració d'àcid sulfúric	111
FIGURA 2.4.	Esquema de la planta pilot de frigoconservació	114
FIGURA 2.5.	Determinació periòdica de la humitat relativa a dins de les caixes	116
FIGURA 2.6.	Esquema de la planta pilot d'assecatge	117
FIGURA 2.7.	Algoritme de simulació de l'operació d'assecat en llit profund	128
FIGURA 3.1.	Evolució del contingut d'humitat observat experimentalment per avellana en gra i en closca, a diferents temperatures de l'aigua de remull	144
FIGURA 3.2.	Corbes de rehidratació per avellana en gra i en closca a diferents temperatures, segons el model de Peleg	147
FIGURA 3.3.	Isotermes d'adsorció i desorció per avellana <i>Negret</i> a 10°C	148
FIGURA 3.4.	Isotermes de desorció per avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> a diferents temperatures. (Influència del factor temperatura)	149
FIGURA 3.5.	Isotermes de desorció per avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> a diferents temperatures. (Influència del factor varietat)	150
FIGURA 3.6.	Isotermes de sorció per avellana <i>Negret</i> , <i>Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> a diferents temperatures. (Influència del factor temperatura)	152
FIGURA 3.7.	Isotermes de sorció per avellana <i>Negret</i> , <i>Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> a diferents temperatures. (Influència del factor varietat)	153
FIGURA 3.8.	Representació gràfica dels valors de $a_w/(X_e^*(1-a_w))$ enfront de a_w , per a l'ajust al model de B.E.T.	157
FIGURA 3.9.	Representació gràfica dels valors de $\ln(1/X_e)$ enfront de a_w , per a l'ajust al model de Caurie	161
FIGURA 3.10.	Representació gràfica dels ajusts a les equacions de Chung-Pfost, G.A.B., Halsey, Henderson, Oswin i Smith	176

FIGURA 3.11. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada a 40% d'humitat relativa	182
FIGURA 3.12. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada a 60% d'humitat relativa	183
FIGURA 3.13. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 91/92) frigoconservada a 40% d'humitat relativa	184
FIGURA 3.14. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 91/92) frigoconservada a 60% d'humitat relativa	185
FIGURA 3.15. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> (campanya 92/93) frigoconservada a 40% d'humitat relativa	186
FIGURA 3.16. Evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> (campanya 92/93) frigoconservada a 60% d'humitat relativa	187
FIGURA 3.17. Control de les condicions ambient i evolució de la humitat de l'avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> (campanya 92/93) emmagatzemada	190
FIGURA 3.18. Evolució de l'índex d'acidesa de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada	192
FIGURA 3.19. Evolució de l'índex d'acidesa de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 91/92) frigoconservada	193
FIGURA 3.20. Evolució de l'índex d'acidesa de l'avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> (campanya 92/93) frigoconservada i emmagatzemada a condicions ambient	194
FIGURA 3.21. Evolució de l'índex de peròxids de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada	197
FIGURA 3.22. Evolució de l'índex K_{232} de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada	199
FIGURA 3.23. Evolució de l'índex K_{232} de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 91/92) frigoconservada	200
FIGURA 3.24. Evolució de l'índex K_{232} de l'avellana <i>Negret</i> i <i>Pauetet</i> (campanya 92/93) frigoconservada i emmagatzemada a condicions ambient	201
FIGURA 3.25. Evolució de l'índex K_{270} de l'avellana <i>Negret, Pauetet</i> i <i>Tonda Romana</i> (campanya 90/91) frigoconservada	202