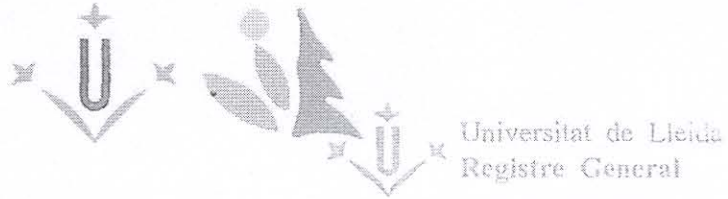


(243) "1995" Piq

UNIVERSITAT DE LLEIDA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA DE LLEIDA

1600/24642



19 SET. 1995

E: 3898

S:

TESI DOCTORAL



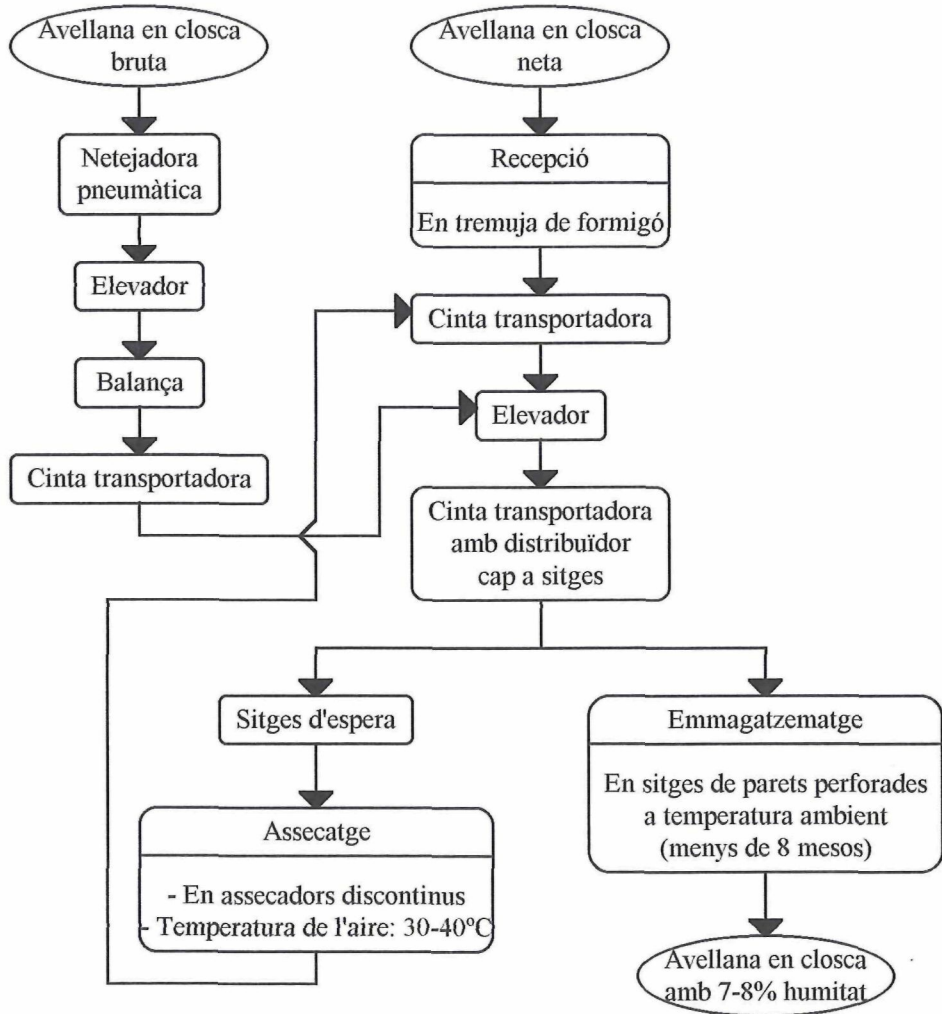
TECNOLOGIA POSTCOLLITA DE L'AVELLANA.

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

Maria Teresa Piqué Ferré  
Juny 1995

010-43360

FIGURA 1.8  
**Diagrama de flux: RECEPCIÓ I ASSECATGE DE L'AVELLANA EN CLOSCA**



Per a facilitar el procés de trencament de la closca, l'avellana s'hidrata mitjançant un remullat amb aigua, fins a continguts d'humitat entre 9 i 10 %. Després de l'escloscat, cal assecar l'avellana en gra fins a un 6% d'humitat. A continuació es fa el calibrat i selecció de l'avellana per tamany. Els calibres no comercialitzats s'emmagatzemen en sitges airejades o bé en cambra frigorífica. En les figures 1.9 i 1.10 es mostren els diagrames de flux de l'escloscat de l'avellana i de l'assecatge, calibrat i envasat de l'avellana en gra.

FIGURA 1.9

**Diagrama de flux: ESCLOSCAT DE L'AVELLANA**

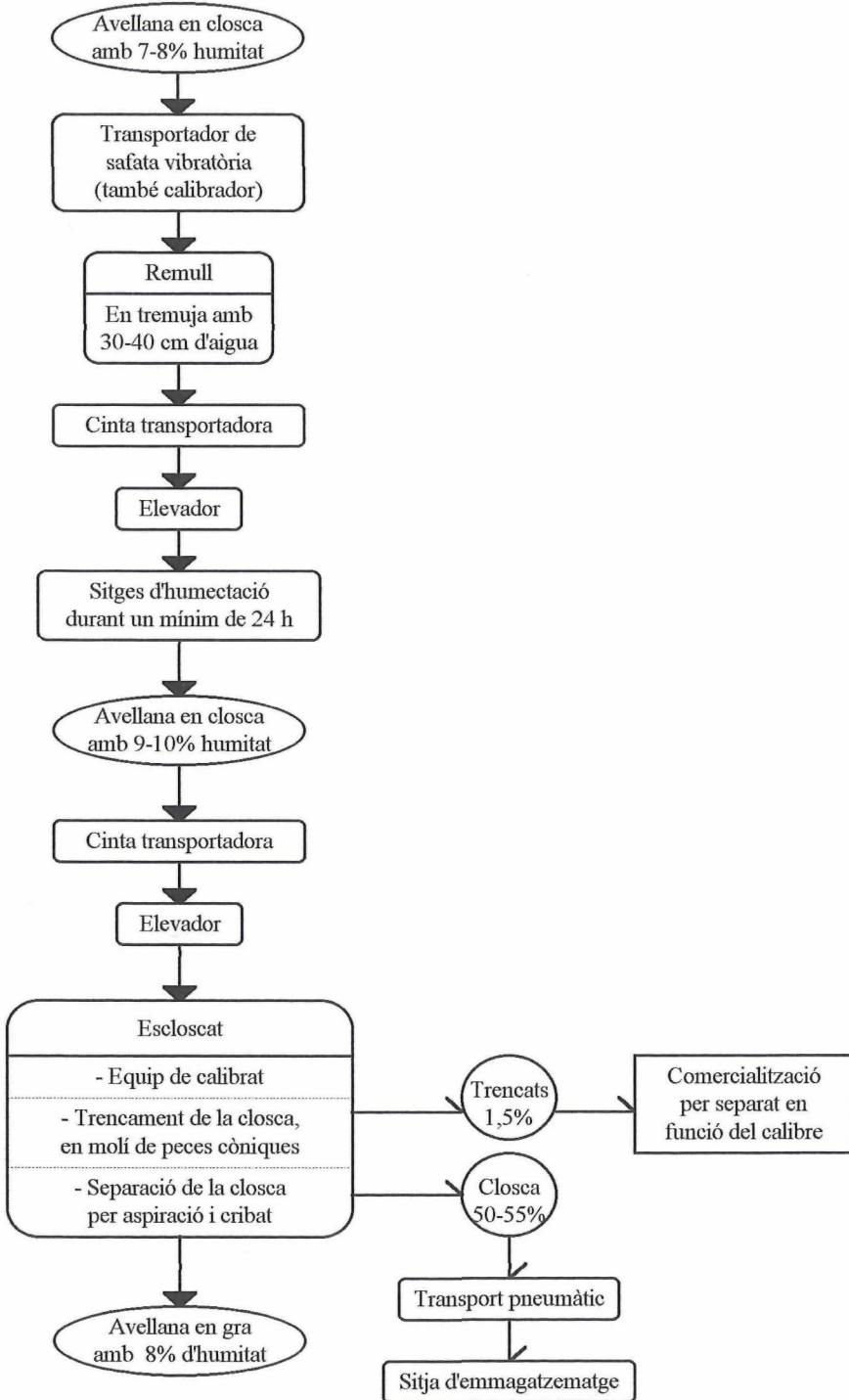
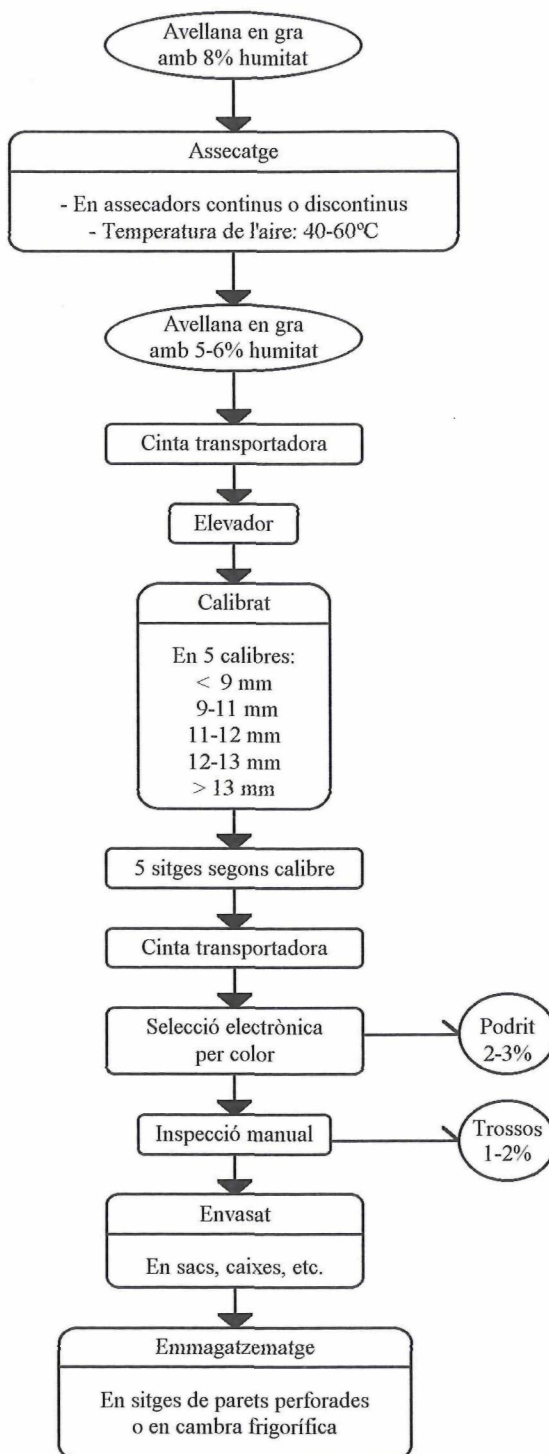


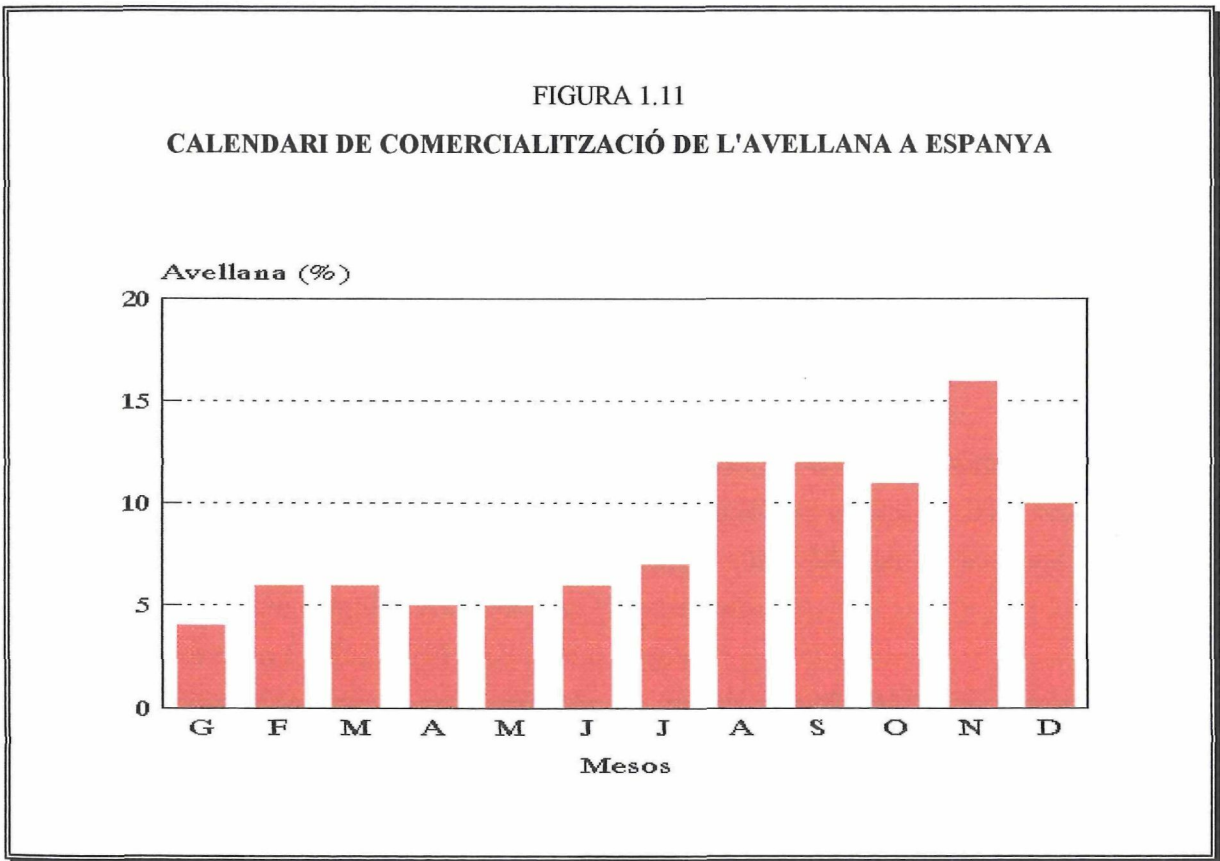
FIGURA 1.10

**Diagrama de flux: ASSECATGE, CALIBRAT I ENVASAT DE L'AVELLANA EN GRA**



### 1.2.2. Emmagatzematge de l'avellana

La comercialització de l'avellana es du a terme sobretot en el període que va de finals d'agost a desembre (Figura 1.11); però, per a transaccions individuals de petit volum, els comerciants adquireixen l'avellana uns mesos després de la seva recol·lecció. D'aquesta manera, com que la comercialització de l'avellana es pot donar al llarg de tot l'any, cal tenir en compte les condicions d'emmagatzematge per tal de que no es produeixin pèrdues en la qualitat.



Font: Anònim, 1987

L'avellana es recol·lecta normalment amb una humitat al voltant del 20%. A l'aire lliure, aquesta avellana no s'altera profundament abans de deu dies, però el seu aspecte es

deteriora. En cambra frigorífica a una temperatura de 2°C i una humitat relativa de 80%, l'avellana es pot conservar de dos a tres setmanes dins de sacs de polietilè; tanmateix, si el temps d'emmagatzematge s'allarga, s'observa l'aparició de fongs (Bergougnoux *et al.*, 1978).

Per a una bona conservació, cal reduir la humitat inicial de l'avellana fins a valors entre 5 i 6 %. La disminució de la humitat no és, però, una garantia de bona conservació; s'ha de tenir en compte, a més a més, la temperatura i la humitat relativa ambient del lloc on s'emmagatzemarà l'avellana. L'emmagatzematge de l'avellana, una vegada aquesta ha estat assecada, es pot fer en locals secs ben ventilats o en cambres frigorífiques (Manzo, 1984).

L'avellana en closca es pot emmagatzemar en locals on la temperatura ambient no superi els 20°C i la humitat relativa es mantingui entre 60 i 65 %. Com a mesures de seguretat, es fa una desinfecció prèvia del local i, a més, l'avellana no es col·loca directament a terra, sinó sobre fusta, que actua com a aïllament i permet aconseguir una bona aireació del producte. L'avellana es pot posar directament sense envasar, o bé en sacs de jute de 55-65 kg que van amuntegats en els dos sentits, horitzontal i transversal, per tal de millorar l'aireació del producte. En aquestes condicions, l'avellana en closca es conserva bé durant un any; en canvi, l'avellana en gra només es podrà emmagatzemar de quatre a cinc mesos -l'hivern- i, en regions càlides, tan sols un mes (De Rosa, 1979).

La bona conservació de l'avellana en closca depen de la varietat. El gruix de la closca i el contingut total de lípids, que hauria de ser inferior al 60% -dels quals l'àcid linolèic no hauria de representar més del 4%-, influeixen en la conservació de l'avellana (De Rosa, 1979).

Fregoni i Zioni (1962) van determinar el percentatge d'avellana rànica de diferents varietats durant un període de conservació de l'avellana en closca de dos anys, a temperatura i humitat relativa ambient. Els resultats van mostrar que l'enranciment és quasi nul al cap d'un any, i que als 18 mesos el percentatge d'avellana rànica és elevat, augmentant aquest valor, posteriorment, de forma gradual. També van trobar que les varietats que més s'enrancien són les que presenten un percentatge d'àcids grassos insaturats més alt.

L'emmagatzematge en cambra frigorífica allarga el període de conservació de l'avellana, tant en gra com en closca. L'avellana en closca frigoconservada a una temperatura entre 2 i 4 °C i a una humitat relativa inferior a 65%, es pot conservar de dos a tres anys sense que es produeixin alteracions significatives (Bergougnoux *et al.*, 1978).

La conservació de l'avellana en gra s'ha de fer a temperatures baixes per a evitar que es produeixi ràpidament l'enranciment; per això, l'emmagatzematge en cambra frigorífica és molt aconsellable. La humitat relativa de la cambra no pot ser superior al 70%, i la humitat inicial de l'avellana ha de ser inferior a 4,5% (Bergougnoux *et al.*, 1978). Als Estats Units -Oregon-, l'avellana en gra es conserva durant dos anys a una temperatura de 2°C, mantenint la humitat relativa entre 60 i 65 %; també es pot emmagatzemar a la temperatura negativa de -3°C (Baron *et al.*, 1985). A Itàlia -Ets Belsana-, l'emmagatzematge es fa a una temperatura entre 10 i 12 °C i una humitat relativa al voltant de 70%, però amb un període de conservació menor (Bergougnoux *et al.*, 1978).

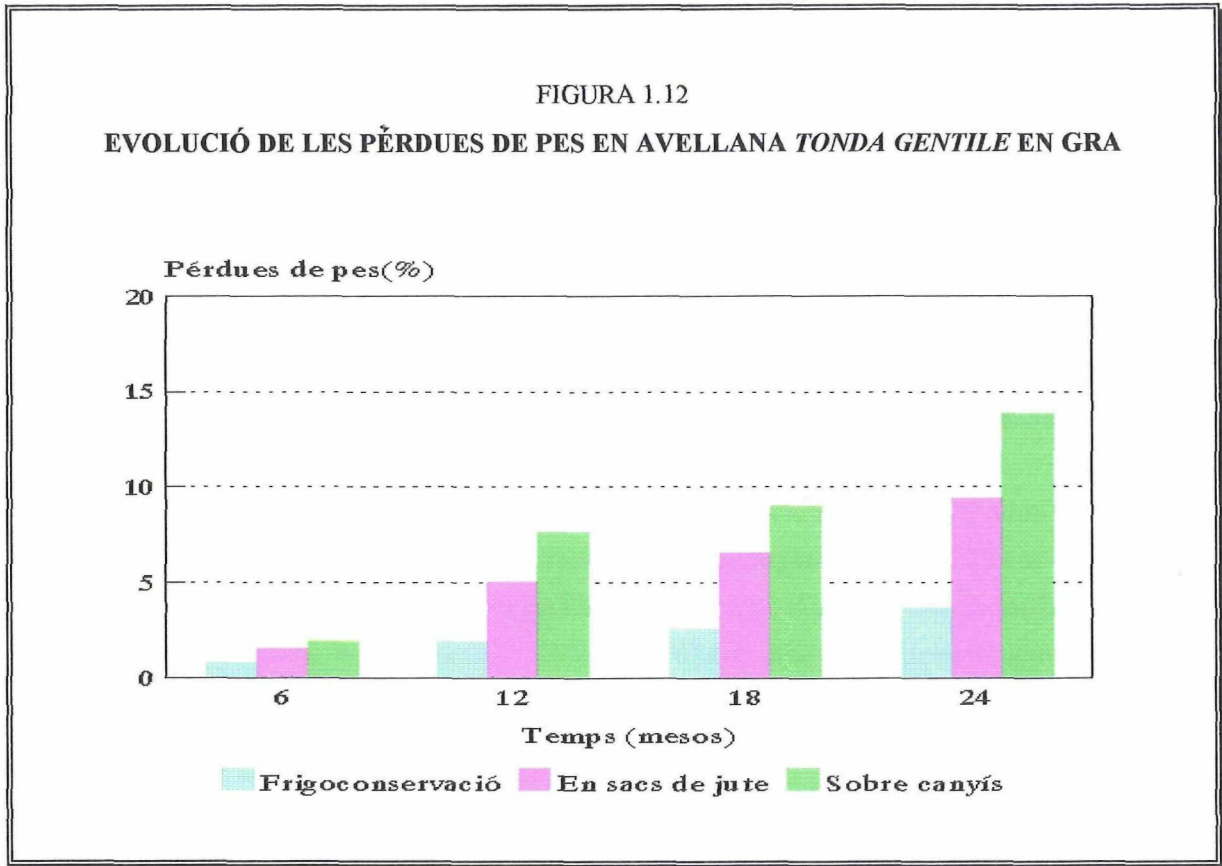
A Catalunya, les dues cooperatives caracteritzades disposen d'instal·lacions frigorífiques on es controla la temperatura de frigoconservació de l'avellana en gra entre 2°C i 5°C en la Cooperativa Unió, i entre 5°C i 6°C en la Cooperativa La Selva, però no es controla la humitat relativa per sota del 70%.

Una bona conservació de l'avellana, tant en closca com en gra, es caracteritza per una pèrdua mínima d'humitat i per un baix percentatge d'avellana rànica (De Rosa, 1985).

Fregoni i Zioni (1964) van estudiar tres mètodes de conservació, utilitzant com a matèria primera avellana en closca de la varietat *Tonda Gentile delle Langue*, i amb una duració de la prova de 2 anys. Els tres mètodes confrontats van ser:

- Conservació en sacs de jute, a temperatura i humitat ambientals.
- Conservació sobre canyís, a temperatura i humitat ambientals.
- Frigoconservació a 2°C i 80-85% d'humitat relativa.

Amb el mètode de frigoconservació la disminució del pes mig de l'avellana va ser menor, tant en closca com en gra; mentre que la pèrdua més gran va tenir lloc en la conservació sobre canyís (Figura 1.12). El major grau d'enranciment es va donar en l'avellana conservada en sacs. El percentatge d'avellanes ràniques per cadascun dels mètodes, al cap dels dos anys de conservació, va ser de 4% en frigoconservació, de 7,5% en conservació sobre canyís, i de 12,1% en conservació en sacs. Quant al rendiment en gra i al pelat, els millors resultats es van obtenir per a l'avellana frigoconservada, i els pitjors per a l'avellana conservada sobre canyís. L'avellana conservada en sacs va presentar uns valors intermitjos.



Font: Fregoni i Zioni, 1964

Hadorn *et al.* (1974) van fer un estudi del comportament de l'avellana, en gra i en closca, sota diferents condicions d'emmagatzematge:

- . -20°C anomenada "Control"
- . 0- 5°C i 50-60% HR anomenada "Fred/Sec"
- . 8-10°C i 50-60% HR anomenada "Tebi/Sec"
- . 8-10°C i 70-80% HR anomenada "Tebi/Humit"
- . 20-22°C i 50-60% HR anomenada "Calent/Sec"
- . 20-22°C i 70-80% HR anomenada "Calent/Humit"

El període de conservació va ésser diferent per a cada tractament: el període més llarg es va establir per al tractament més favorable -"Control"- (60 setmanes), i el més curt per al tractament més desfavorable -"Calent/Humit"- (16 setmanes). Les conclusions a les que van arribar són:

- La closca de l'avellana ofereix clarament una protecció contra l'enranciment.
- En la condició "Control", al cap de les 60 setmanes, les avellanes no estaven rànries però



el seu gust tendia a l'envelliment.

- Les condicions "Fred/Sec" i "Tebi/Sec" van tenir efectes similars en les avellanes.
- Les condicions "Tebi/Humit" i "Calent/Sec" van resultar desfavorables, encara que la pitjor de les dues va ser la "Tebi/Humit", deduint-ne que la influència de la humitat relativa (HR) és més important que la de la temperatura.
- La condició "Calent/Humit" va ésser la més desfavorable, trobant mostres enrancides a les quatre setmanes de conservació.

Keme *et al.* (1980) van fer experiències d'emmagatzematge d'avellana en atmosfera de nitrogen comparant-ho amb el mètodes tradicionals d'emmagatzematge en atmosfera d'aire. Per a fer les experiències van utilitzar avellana de les varietats italianes *Tonda Gentile delle Langhe* i *Tonda Romana* i de la varietat turca *Akcaokca*. El temps d'emmagatzematge de les mostres va ser de 12 mesos per a les varietats *Tonda Gentile delle Langhe* i *Tonda Romana*, i de 9 mesos per a la varietat *Akcaokca*. Les condicions d'emmagatzematge que van estudiar són:

- . Control: -20°C i 21% O<sub>2</sub>
- . Baixa temperatura i humitat: 3-6°C, 50-60% HR i 21% O<sub>2</sub>
- . Temperatura ambient i baixa humitat: 18-25°C, 50-65% HR i 21% O<sub>2</sub>
- . Alta temperatura i baixa humitat: 35°C, 30-40% HR i 21% O<sub>2</sub>
- . Ambient i atmosfera de nitrogen: 18-25°C, 60-70% HR i 0,5% O<sub>2</sub> màxim
- . Ambient i atmosfera de nitrogen sota pressió: 18-25°C, 40-50% HR i 1% O<sub>2</sub> màxim

Aquestes experiències van posar de manifest que l'emmagatzematge en atmosfera de nitrogen té un efecte sobre la conservació de l'avellana millor o igual que l'emmagatzematge a condicions de baixa temperatura i humitat. El contingut d'humitat de les avellanes en atmosfera de nitrogen es va mantenir pràcticament constant durant l'emmagatzematge, mentre que va disminuir en la resta de mostres. L'activitat lipolítica va ser més alta en les avellanes emmagatzemades en atmosfera de nitrogen a causa del major contingut en humitat, amb valors d'acidesa propers a 0,7%; en canvi, l'activitat oxidativa va ser molt menor, amb coeficients d'extinció a 232 nm similars als obtinguts en l'emmagatzematge a baixa temperatura i humitat -no arribant a 0,3-, essent inferiors als de l'emmagatzematge a condicions ambient i amb aire calent.

Ninot (1985) va estudiar la incidència de la temperatura i de la humitat relativa en l'enranciment de l'avellana, així com les possibles diferències de comportament varietal. Les

mostres d'avellana en closca, de disset varietats, es van sotmetre a tres mètodes de conservació:

- Conservació en magatzem a 17°C i 60% HR.
- Conservació en cambra frigorífica a 7°C i 60% HR.
- Conservació en un lloc de temperatura regularitzada, amb calefacció durant l'hivern, a 21°C i 50% HR.

El tractament en cambra frigorífica va resultar ser el millor. Per varietats, la varietat *Tonda Romana* és la que va presentar menys alteracions per a tots els mètodes. L'avellana de la varietat *Pauletet* va manifestar un comportament desfavorable en els tractaments d'ambient i escalfor; en canvi, va tenir un comportament favorable en cambra frigorífica. La varietat *Negret* va ser una de les varietats que no van presentar una bona conservació en cambra frigorífica.

Aquests estudis posen de manifest que l'emmagatzematge en cambra frigorífica contribueix a mantenir la qualitat de l'avellana. Tanmateix, de la bibliografia es desprèn que no s'han realitzat estudis complets sobre les condicions més adequades de frigoconservació de l'avellana produïda a Espanya.

### 1.2.3. Assecatge de l'avellana

L'assecat és una de les operacions més importants en el tractament postcollita de productes agroalimentaris com els fruits secs -avellanes, ametlles, nous-. Els objectius que es persegueixen amb l'operació de l'assecat són (Sokhansanj i Jayas, 1987):

- *Augment del temps de conservació de l'aliment.* Els aliments secs són menys susceptibles al deterior causat pel creixement de bacteris, floridures i insectes, donat que l'activitat de la majoria de microorganismes és inhibida quan la disponibilitat d'aigua en l'aliment és baixa. D'altra banda, el risc de reaccions oxidatives i enzimàtiques desfavorables també es redueix.

- *Millora de la qualitat.* Un gran nombre de característiques i valors nutritius poden ser millorats. L'assecatge produeix canvis en la palatabilitat, la digestibilitat, el color, l'aroma i,

sovint, en l'aparença de l'aliment.

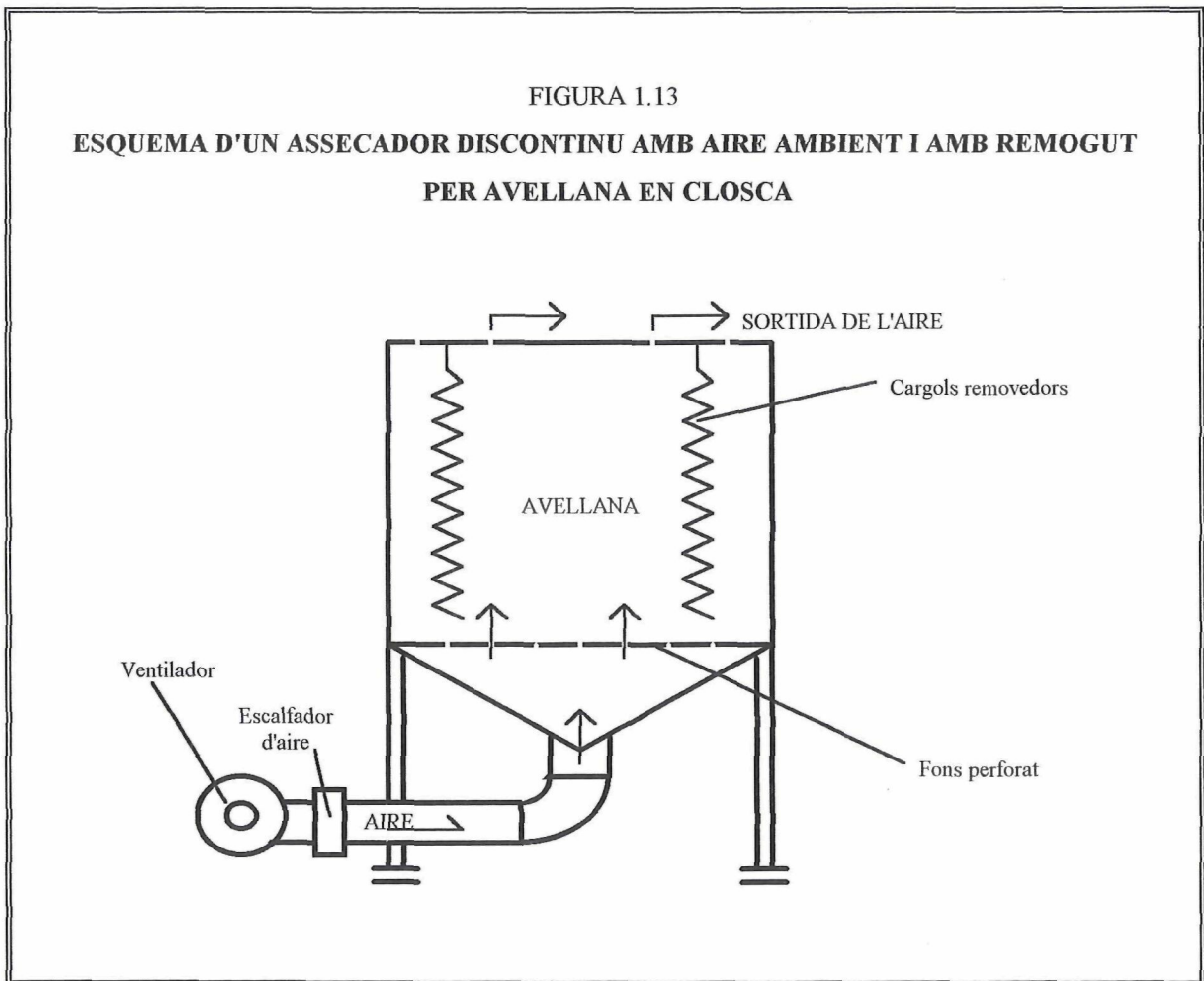
- *Afavorir els processos posteriors.* Alguns productes agroalimentaris s'assequen per a que processos com els de reducció de tamany i de mescla es realitzin millor. Un producte sec necessita menys energia que un producte humit per a ser molt; igualment, un producte sec es mescla més uniformement amb d'altres materials i és menys viscos comparat amb un producte humit.

L'assecatge de l'avellana en closca es feia tradicionalment per exposició al sol en un període de tres a cinc dies (Manzo, 1984). Aquest mètode d'assecat és el més econòmic, però té alguns inconvenients: depèn de les condicions climatològiques -que no es poden controlar- és lent i, generalment, no redueix el contingut d'humitat a menys del 15%, essent insuficient per a permetre l'estabilitat en l'emmagatzematge; a més, els aliments exposats al sol són susceptibles a la contaminació i a pèrdues com a conseqüència de la pols, dels insectes i d'altres factors (Guerrero i Nuñez, 1991). A nivell industrial, aquest mètode és totalment inviable ja que s'han d'assecar grans quantitats de producte; per això, l'assecatge es fa en equips especialment dissenyats (Manzo, 1984).

Existeixen varis tipus d'assecadors en el sector de l'avellana, trobant-se les diferències, fonamentalment, en la forma en que es mou el producte a través de la zona d'assecat. Els assecadors poden tenir un funcionament continu o discontinu -per càrregues-. L'operació en continu presenta l'avantatge d'una fàcil integració a la resta del procés, juntament amb un cost unitari de l'assecat inferior a l'obtingut en el procés discontinu; però, l'assegador discontinu és molt més versàtil i sovint es pot utilitzar per a diferents productes. En general, una quantitat d'aproximadament 5.000 kg/dia o inferior és millor tractar-la en discontinu, mentre que per a una unitat de 50.000 kg/dia o superior és més adequada l'operació en continu (Coulson i Richardson, 1988). En tots els mètodes convencionals d'assecatge i torrat de l'avellana, s'utilitza per a l'escalfament i eliminació de la humitat la circulació forçada d'aire calent a pressió pròxima a l'atmosfèrica, amb transmissió de calor per convecció; encara que també s'han fet estudis amb noves tecnologies com el torrat per infraroigs (Mayer, 1985).

Els assecadors discontinus utilitzats en l'assecatge de l'avellana en closca o en gra consisteixen, generalment, en sitges de fons perforat en les quals s'hi posa el producte a assecar de forma estàtica durant un període de temps; l'aire circula a través del llit de producte (Figura 1.13). Per afavorir la transmissió de calor sovint es fa un remogut intern

mitjançant visensfins longitudinals o bé recirculant el producte. Quan el material és sec, es buida la sitja. Un cas particular d'assecador discontinu és l'*assecador de fals fons*, utilitzat en l'assecatge de nous. Aquest assecador consta d'un pla inclinat reixat a través del qual circula l'aire calent. La superfície de l'assecador està dividida en compartiments per a permetre un millor aprofitament energètic en el cas de que l'assecador no treballi a la seva càrrega màxima. El producte es posa sobre l'enreixat i es fa circular l'aire calent al seu través; quan el producte està sec, es buida el compartiment i es torna a omplir amb una nova càrrega de producte (Bergougnoux, 1977).



L'assecatge continu de l'avellana en closca o en gra es pot fer en assecadors de cascada i en assecadors de bandes. Els *assecadors de cascada* contenen una sèrie de safates en les quals es disposa el material a assecar; l'aire circula entre les safates, lateralment al llit d'assecatge. El producte té un temps d'estada a cada safata i, passat aquest temps, la safata s'abateix i el producte cau a la safata inferior, i així fins arribar a la darrera safata (Figura 1.14). En els *assecadors de bandes*, el producte es disposa sobre la superfície d'una banda horitzontal, recorrent en estat de repòs el recinte d'assecatge; el producte arriba i es descarrega automàticament a l'extrem oposat de la banda. En l'*assecador de bandes múltiples*, les bandes recorren diverses vegades la cambra d'assecatge, aconseguint una disminució del temps d'assecatge (Kneule, 1982) (Figura 1.15).

FIGURA 1.14  
ESQUEMA D'UN ASSECADOR DE CASCADA

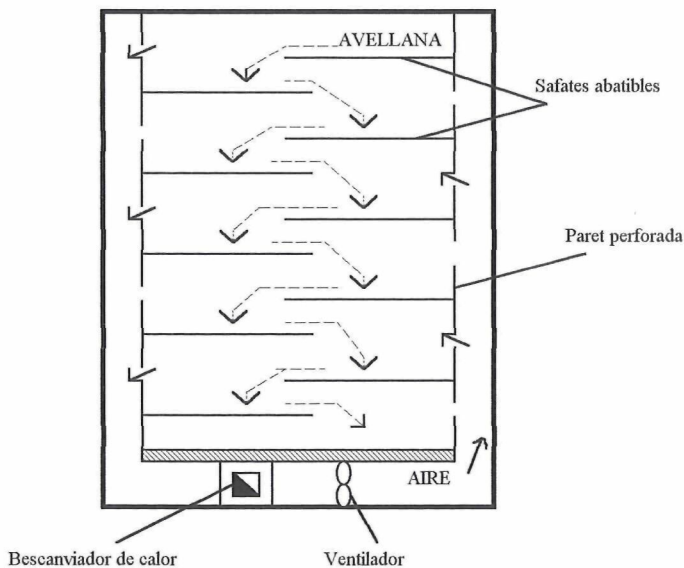
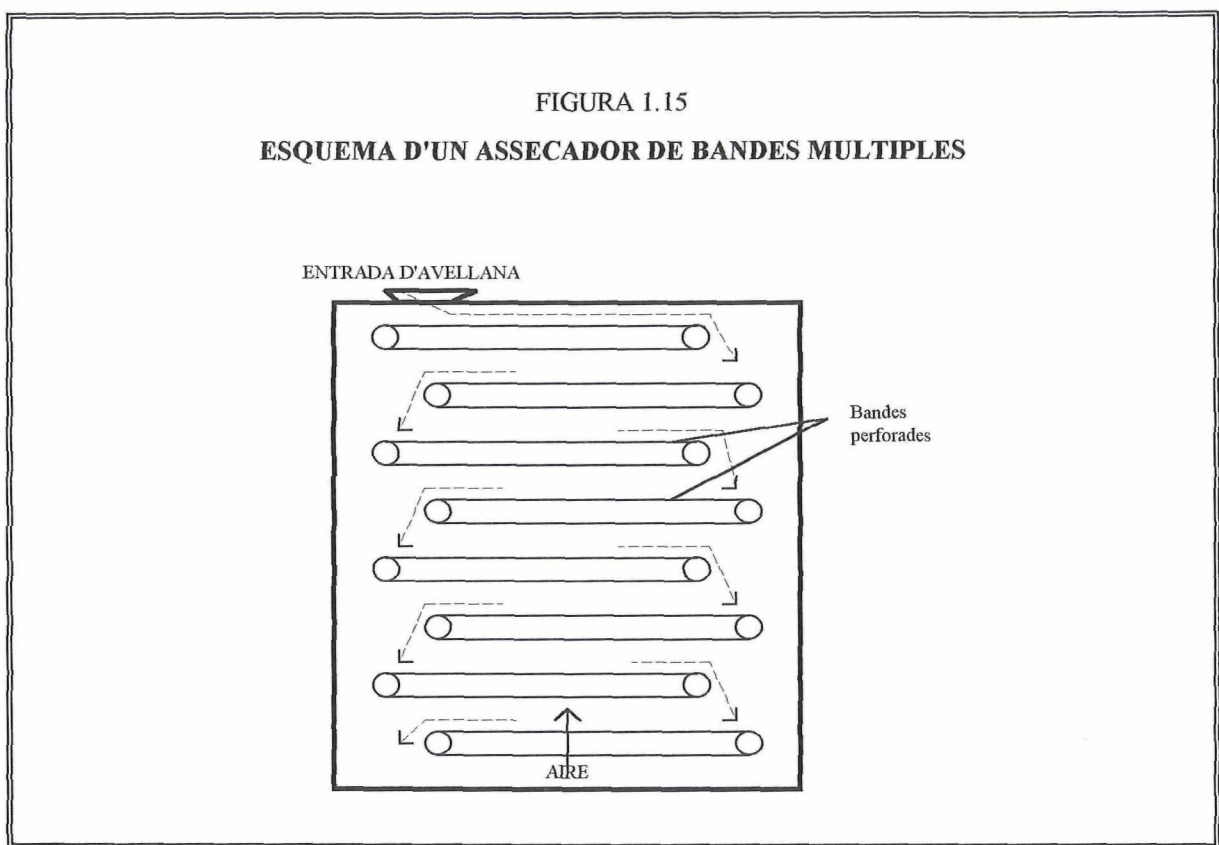


FIGURA 1.15  
**ESQUEMA D'UN ASSECADOR DE BANDES MULTIPLES**



Als Estats Units (Oregon), l'assecatge de l'avellana es fa en assecadors discontinus del tipus de fals fons, per circulació forçada d'aire calent a temperatures entre 35 i 40 °C, amb temps d'assecatge inferiors a 24 h. També hi ha hagut una tendència a utilitzar en les explotacions d'avellana les estructures disponibles d'assecatge de cereals (Baron *et al.*, 1985). A Itàlia, a la Cooperativa de Viterbo, la temperatura d'assecatge que s'empra és 47°C (Bergognoux *et al.*, 1978).

A Espanya, les instal·lacions d'assecatge d'avellana tenen les següents característiques:

- Per avellana en closca: S'utilitzen assecadors discontinus de fons perforat o de parets perforades amb distribuïdors longitudinals interiors d'aire, amb capacitats que varien entre 25 i 150 t, amb remogut mitjançant cargols removedors o sense remogut interior, i amb

temperatures de l'aire d'assecat que van des de la temperatura ambient fins a 37-40°C. També s'utilitzen assecadors de 8 t de capacitat en que el remogut es fa mitjançant la recirculació de l'avellana.

- Per avellana en gra: S'utilitzen assecadors continus de cascada amb safates abatibles, de 1.500 kg/h de capacitat i amb una temperatura de l'aire d'assecatge de 55-65 °C; o bé assecadors discontinus de 8 t de capacitat, amb distribuïdors interiors d'aire a 40°C.

Es de destacar que en la bibliografia no s'han trobat estudis al voltant de la influència de les condicions d'assecat sobre la qualitat de l'avellana en closca o en gra.

## 1.3. TEORIA DEL COMPORTAMENT DE SÒLIDS HIGROSCÒPICS

### 1.3.1. Rehidratació

#### 1.3.1.1. Introducció

La transferència d'aigua que té lloc en els aliments sòlids porosos durant l'assecat, la rehidratació o l'emmagatzematge és un procés complex que pot implicar difusió molecular, flux Knudsen, flux capil·lar, flux hidrodinàmic i difusió superficial (Saravacos, 1986). Tanmateix, es pot diferenciar entre el moviment del líquid, que es dona sota la influència de forces capil·lars o de forces superficials, i el moviment del vapor en els porus plens de gas, que té lloc com a conseqüència de les diferències de pressió parcial, donant-se mecanismes de difusió molecular (Hallström, 1992).

En el procés de rehidratació, la transferència d'aigua a través de l'aliment sòlid porós està controlada sobretot per l'existència de flux capil·lar i flux hidrodinàmic (Hallström, 1992). En l'assecat o en la sorció d'humitat a partir de la fase de vapor, el mecanisme de flux capil·lar no és retllevant; en canvi, quan un aliment sòlid porós es sumergeix en aigua líquida, el flux capil·lar esdevé el mecanisme de transport més important. En el flux capil·lar té lloc una difusió superficial que consisteix en la transferència de molècules d'aigua adsorbides sobre la paret dels porus (Singh, 1989).

Si l'absorció d'aigua per a un sòlid porós es considera com un procés controlat per la difusió, aleshores es pot tractar matemàticament de forma similar a la conducció de calor, i es pot descriure mitjançant la difusivitat efectiva (Rivzi, 1986; Okos *et al.*, 1992). La difusió de líquids en un sòlid és un procés més complex que el que té lloc en líquids. Els aliments sòlids tenen normalment una estructura heterogènia i poden interaccionar amb les substàncies que es difonen (Saravacos, 1986). Per al desenvolupament dels models de difusió de líquids en l'interior de sòlids, s'accepten les hipòtesis simplificadores (Puig *et al.*, 1989):

- El moviment de l'aigua es deu a un mecanisme de difusió en fase líquida, és a dir, la força impulsora és un gradient de concentració; per la qual cosa es pot interpretar amb la llei de Fick de la difusió.
- La rehidratació es dona de manera isoterma, a la temperatura de l'aigua de remull.



- Es considera una estructura homogènia de l'aliment i una forma geomètrica senzilla.

L'equació de difusió en estat no estacionari, que constitueix la segona llei de Fick de la difusió (Rivzi, 1986) és:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \cdot \left[ \frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial X}{\partial r} \right] \quad (1.1)$$

suposant un coeficient de difusió constant, i considerant la difusió en la direcció radial -per a un cos amb forma esfèrica-. Les condicions de contorn per a aquesta equació diferencial són:

$$X(r, 0) = X_0 \quad , \text{ per } t = 0.$$

$$X(r_o, t) = X_e \quad , \text{ per } r = r_o \text{ (a la superfície).}$$

$$X(0, t) = X \quad , \text{ per } r = 0 \text{ (al centre).}$$

Si s'assumeix una distribució d'humitat uniforme en el moment inicial ( $t = 0$ ) i l'ausència de qualsevol resistència externa, la solució analítica d'aquesta segona llei de Fick per a una esfera és (Alves-Filho i Rumsey, 1985; Okos *et al.*, 1992):

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cdot \exp \left[ -n^2 \cdot \frac{D_{ef}}{r^2} \cdot t \right] \quad (1.2)$$

on  $X$  = humitat del sòlid, en kg aigua/kg matèria seca.

$X_e$  = humitat en la superfície -que és la d'equilibri-, en kg aigua/kg matèria seca.

$X_0$  = humitat inicial del sòlid, en kg aigua/kg matèria seca.

$D_{ef}$  = coeficient de difusivitat efectiva, en  $m^2/s$ .

$t$  = temps, en s.

$r$  = radi de l'esfera, en m.

Per a sòlids irregulars, Becker (1960) va obtenir la següent equació per a la rehidratació d'aliments, considerant el mecanisme de difusió de vapor en el sòlid:

$$\frac{X - X_0}{X_e - X_0} = \frac{2 \cdot A_m \cdot \sqrt{D \cdot t}}{V \cdot \sqrt{\pi}} \quad (1.3)$$