

Mahemarjakasvatuse infopäev

Timmo talu, Härmä küla, Setomaa

Külmkuivatus ja külmkuivatamise katsetest Aiandusklastri MTÜ projektis

Peeter Laurson
peaspetsialist

Polli Aiandusuuringute Keskus, Eesti Maaülikool

23. juuli 2019 .a.



Külmkuivatamine ehk lüofiliseerimine

See on kuivatamismeetod mille käigus vesi eemaldatakse külmutatud materjalist jääkristallide sublimatsiooni teel.⁽¹⁾

Sublimatsiooniks nimetatakse tahke aine muutumist gaasiliseks ilma vahepealse veeldumiseta.

Jääkristallide sublimatsioonil aurustub jää ilma, et vahepeal moodustuks vesi.



Külmkuivatamise ajalugu

15. sajand: Inkade algupärane külmkuivatamise meetod. Põllukultuure hoiti Machu Picchu kõrgmägede külmas keskkonnas, kus need külmusid, vesi aurustus aeglaselt kõrgmäestiku madala õhurõhu kaasabil.



<https://www.kimkim.com/c/best-time-to-visit-peru>



Teise maailmasõja ajal arendati esmakordselt välja tänapäevased külmuivatamise tehnikad.

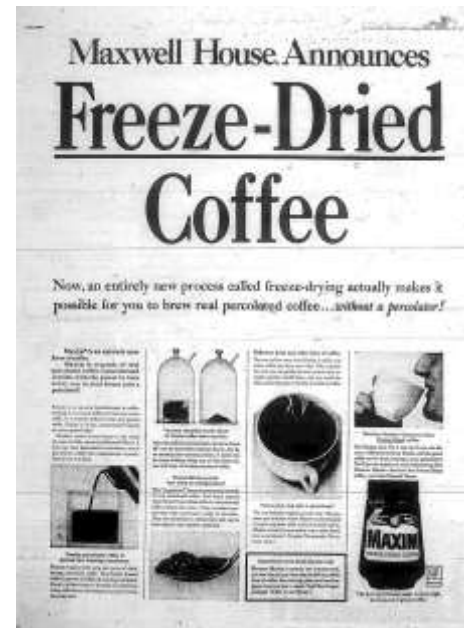
Meetodit hakati kasutama vereplasma säilitamiseks ja ravimite valmistamiseks.



<http://history.amedd.army.mil/booksdocs/wwii/actvsurgconvoli/CH06.htm>



Toiduainete tööstuses hakati külmuivatamist arendama peale teist maailmasõda 1950-nendatel. 1960-nendatel arendati välja lahustuva kohvi valmistamine külmuivatamise teel.



NASA arendas juba 1960-nendatel külmuivatamise meetodil välja astronautide toitusid.



Külmkuivatusprotsessi läbi viimine

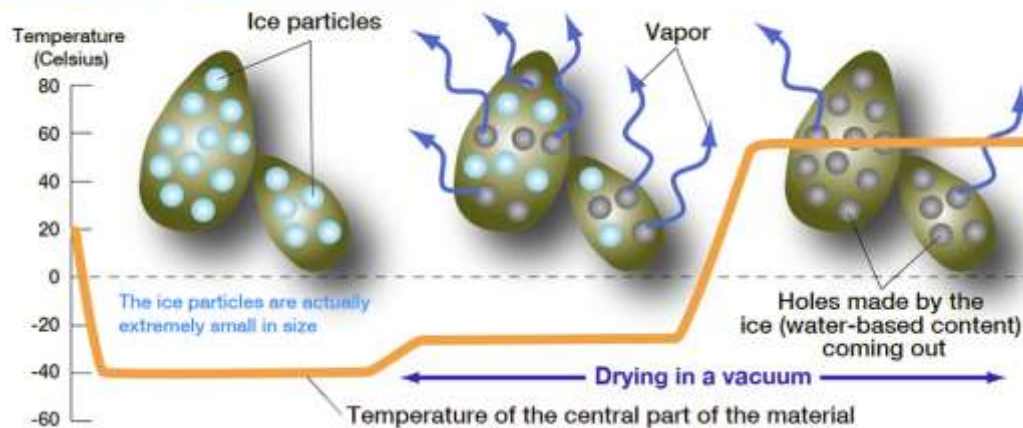
- Materjal külmutatakse
- Külmkuivatuskambri tekitatakse sügav vaakum
- Vaakumis läbi viidava sublimatsiooniprotsessi toimumise efektiivsust toetatakse lüofiliseeritava materjali soojendamisega



Külmkuivatamise protsessis eristatakse kolme etappi:

1. Külmutamine
2. Primaarne kuivamine
3. Sekundaarne kuivamine

■ Process of Vacuum Freeze Drying



<http://www.ulvac.com.sg>



Jahtumine ja külmumine

Vedeliku jahtumine on protsess mille käigus materjali temperatuur alaneb, termiline energija ülekandmisel jahutile, faasisiirde temperatuurini või alla selle.

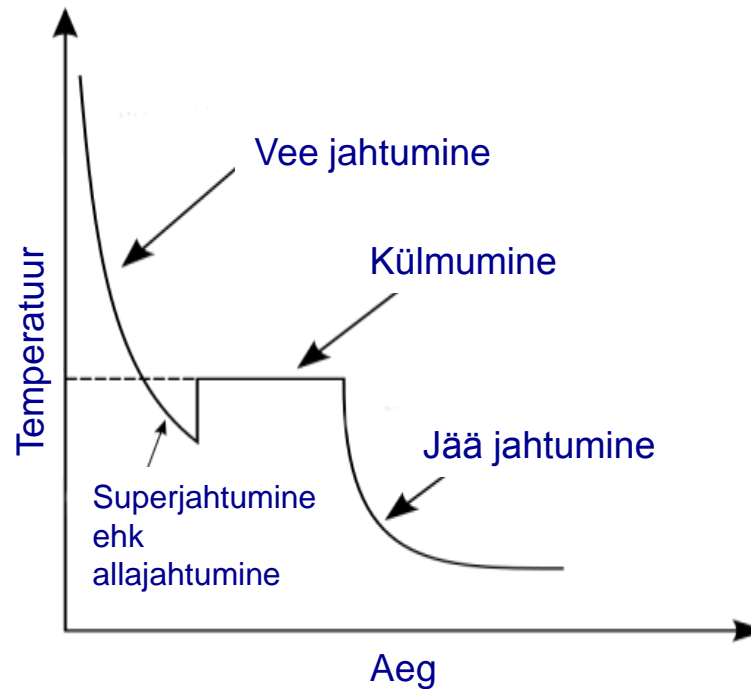
Allajahtumine (ülejahtumine, superjahtumine) on aine jahtumine alla temperatuuri, kus ta peaks siirduma teise faasi.

Faasisiiret jahtumisel ei toimu!

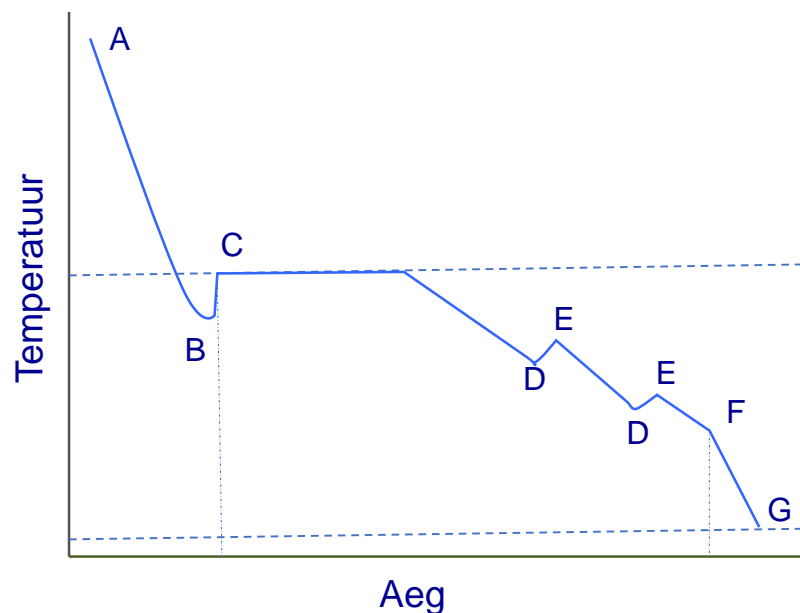
Külmumine ehk jäätumine on vee ja vesilahuste tahkesse olekusse ülemineku protsess, Tekivad jää kristallid



Vee jahtumine ja külmumine



Toiduaine jahtumine ja külmumine



- AB- toiduaine jahutatakse, isegi alla külmumispunkti (alljahtumine) jääb vesi vedelaks
- BC- hakkavad moodustuma jääkristallid, temperatuur tõuseb kiiresti külmumistemperatuurini, vabaneb latentne soojus
- CD-toimub jääkristallide moodustumine, vee kontsentratsiooni vähenemisel suureneb lisandite kontsentratsioon ning külmumistemperatuur alaneb
- DE- üks lahustest jõuab küllastumiseni ja kristalliseerub. Varjatud soojuse vabanemine suurendab alles jäänud lahuse eutektilist temperatuuri
- FG- jätkub kristallisatsioon

<https://www.marketizer.com/articles/freezing-foods-2685270.htm>



Vee kristallumine ja klaasistumine

A- puhta vee molekulid on väga liikuvad

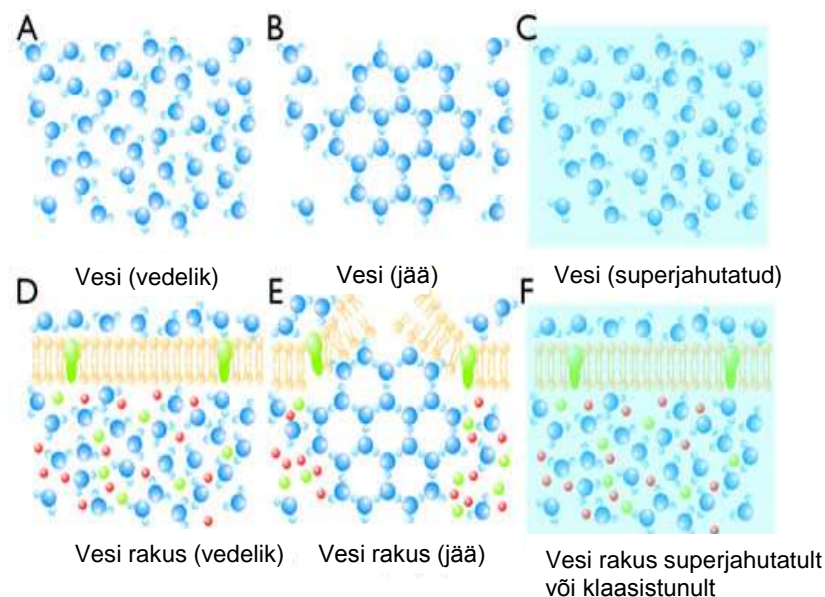
B- kui temperatuur langeb 0°C algab Kõlmumistsentrite tekkimine ja kristallumine

C- kõlmumistsentrite tekkimiseni võib vesi jahtuda ka alla 0°C ehk allajahtuda

D- ka rakusiseses vee molekulid on väga liikuvad vaatamata tsütosooli ehk rakuvedeliku olemasolule

E- jääkristallide moodustumine võib lõhkuda rakumembraani

F- suuremal rõhul võib raku sees olev vesi allajahtuda ning isegi klaasistuda. Rakumembraan jääb terveks



<https://advanced-microscopy.utah.edu/education/electron-micro/>



Primaarne kuivatusfaas

- Esmases kuivatusfaasis alandatakse kuivatuskambri rõhku mõne millibaarini ja alustatakse jäätunud materjali soojendamist, mis põhjustab sublimatsiooni protsessi.
- Eralduv veeaur püütakse kinni madal temperatuuril (tavaliselt alla $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) hoitava kondensaatorkehal.
- Soojendamisel tuleb silmaspidada, et lisatav soojus ei põhjustaks külmunud materjali sulamist. Samuti peab jälgima, et sublimeerumise intensiivsus oleks kooskõlas kondensaatorkeha võimega kondenseerida.
- Primaarses kuivatusfaasis eemaldatakse materjalist ligikaudu 90% sisalduvast veest.

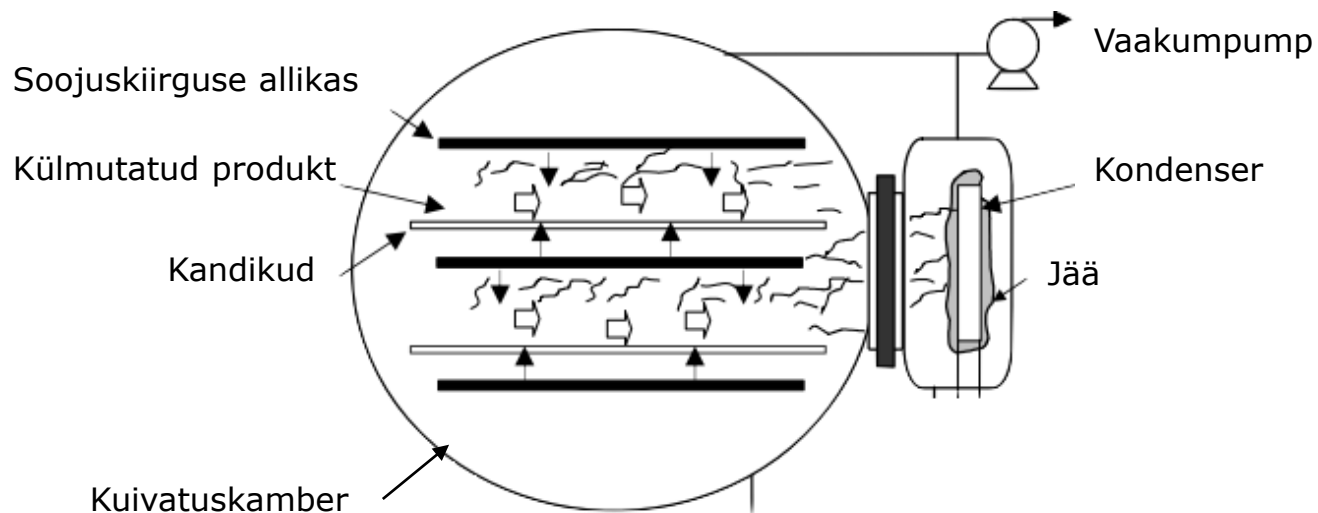


Sekundaarne kuivatusfaas

- Sekundaarse kuivatamise eesmärk on eemaldada materjalis absorbeerunud veemolekulid ehk jääniiskus.
- Absorbeerunud vee eraldamiseks tõstetakse temperatuur kõrgemale kui primaarses etapis ja kuivamisprotsessi võimendamiseks suurendatakse ka vaakumi sügavust.
- Sekundaarne kuivatusfaas kestab 30-50% primaarses kuivatusetapis kulunud ajast.
- Et vältida kuivatatava materjali õhuga kokku puutumist võib protsessi lõpus kuivatuskambris olev vaakum asendada inertgaasiga.

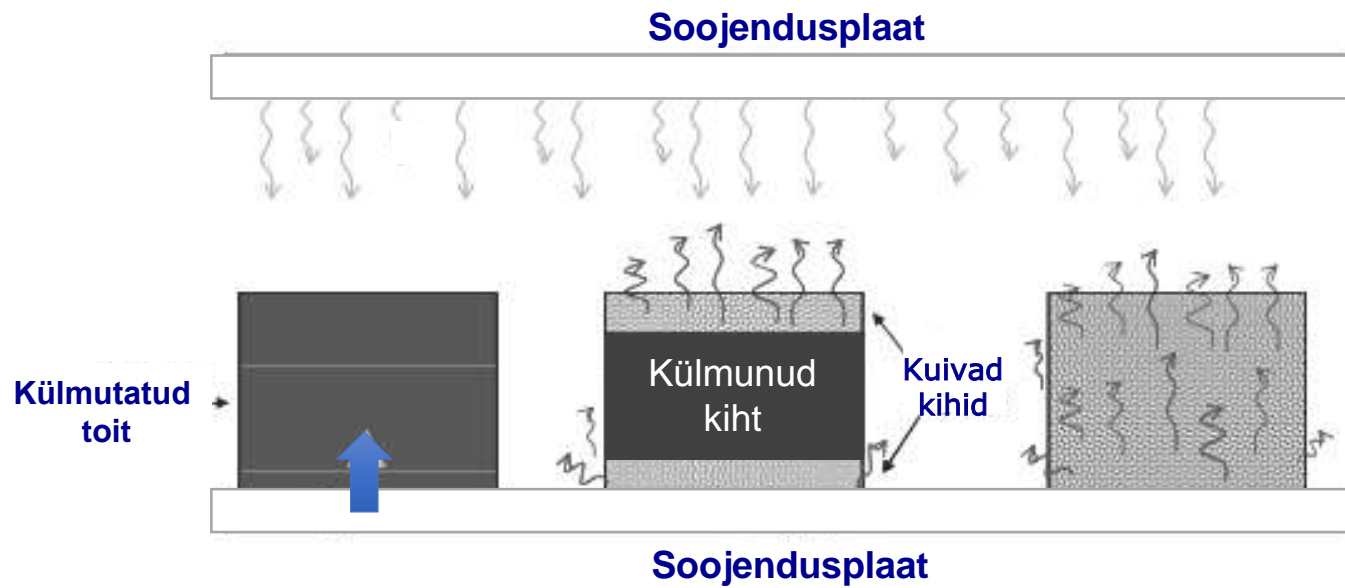


Külmkuivati skemaatiline esitus



(5)





(6)

Külmkuivatamise positiivsed aspektid

- Vesi on kogu külmkuivatamise protsessi ajal tahkes olekus ning kaitseb toote esmast struktuuri võimaldades säilitada toote algse kuju minimaalse mahu vähenemisega.

Enne



Pärast



- Kuna külmkuivatatav toode on jahutatud madalale temperatuurile ning temas puudub vedel vesi peatuvad protsessi läbiviimisel halvenemist põhjustavad keemilised ja mikrobioloogilised reaktsioonid, mistõttu säilib toote algne kvaliteet.
- Külmkuivatamine võimaldab saada võrreldes traditsiooniliste kuivatusmeetodite kasutamisega parima kvaliteediga tooteid. (1)



Külmkuivatatud materjali eelised

- säilib võimalikult suurel määral originaal kuju, värv, maitse, tekstuur ja toitained
- kiire tagasi veetustamine
- kergekaalulisus, hõlpsasti käsitletav ja transporditav
- transportimise ja ladustamise ajal ei ole vaja hoida madalal temperatuuril
- pikk säilivusaeg



Peamised külmuivatavad tooted

- Kohv, tee ja muud ekstraktid ja vedelikud



Ginkgo Biloba Extract



<https://www.123rf.com>
<http://www.andybiotech.com>



Peamised külmuivatatavad tooted

- Köögiviljad, puuviljad ja marjad



<http://foodinjars.com/2016/04/harvest-right-home-freeze-dryer/>



Peamised külmuivatatavad tooted

- Liha, kala ja mereannid



<http://www.freeze-dry.com/services/bulk-freeze-dried-meat/>
<https://www.pinterest.com/pin/739716307516533203/>



Peamised külmuivatatavad tooted

- Valmis toidud



<http://www.jjdean.com/ykebuo19135/19142OfaMIU/>



Peamised külmuivatavad tooted

- Piimatooted (jäätis, jogurt)



<https://theepicenter.com/mountain-house-freeze-dried-neapolitan-ice-cream.html>
<https://harvestright.com/blog/delicious-freeze-dried-yogurt-drops/>



Peamised külmuivatatavad tooted

- Farmaatsiatooted



<https://www.gea.com/en/stories/freeze-drying-fundamentals.jsp>



Peamised külmuivatatavad tooted

- Värvained



<https://www.naturalis.no/>

<https://buddymantra.com/top-8-ways-clear-acne/>

<https://www.amazon.com/Organic-Freeze-Dried-Spirulina-Powder/dp/B011JAA69E>



Külmkuivatusseadmed

- Kodumajapidamisele



Hindade suurusjärk
2000-4000 EUR

<https://harvestright.com/>



Külmkuivatusseadmed

- Laboriseadmed

Hinnad algavad 4000 EUR ja hindade ülemine piir ületab 100 000EUR



<http://www.hinotek.com/lab/scientz-10n-ordinary-multi-pipeline-desktop-freeze-dryer/>
<https://www.spscientific.com/>
<http://secovina.com/en/may-dong-kho-thi-nghiem-sublimator-5-902999.html>



Külmkuivatusseadmed

Pilootsed tootmisseadmed



<https://www.gea.com/en/news/trade-press/2018/new-freeze-dryers-pilot-plant-anuga-2018.jsp>
https://www.spscientific.com/Products/Freeze_Dryers/



Külmkuivatusseadmed

- Tootmisseadmed tsükliline



<https://www.gea.com/en/products/ray-freeze-dryer.jsp>

<http://coolvacuum.es/en/food-industry/>

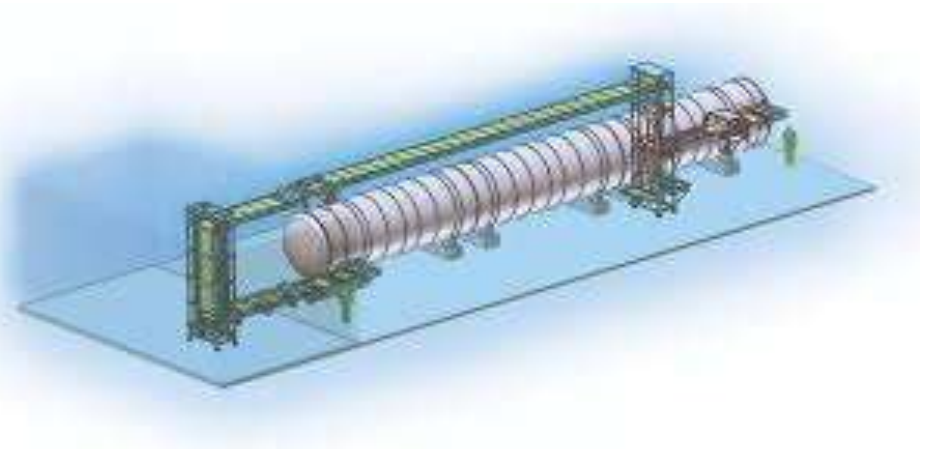


Euroopa Maasüsi Keskus
Eesti Maaülikooli
Euroopa Initsiatiividega
suuühendamine



Külmkuivatusseadmed

- Tootmisseadmed pideva tsükliga



<https://www.gea.com/en/products/conrad-freeze-dryer.jsp>

[http://www.christianberner.se/\\$-1/file/leverantorer/gea/dokument/frystorkning-conrad-en.pdf](http://www.christianberner.se/$-1/file/leverantorer/gea/dokument/frystorkning-conrad-en.pdf)



Maasika külmuivatuskatsed



Maasika külmuivatuskatsed



Maasika külmuivatuskatsed



Maasika külmuivatuskatsed



Vaarika külmuivatuskatsed



Küüslaugu külmuivatuskatsed



Musta sõstra külmuivatuskatsed



Viinamarjade külmuivatuskatsed



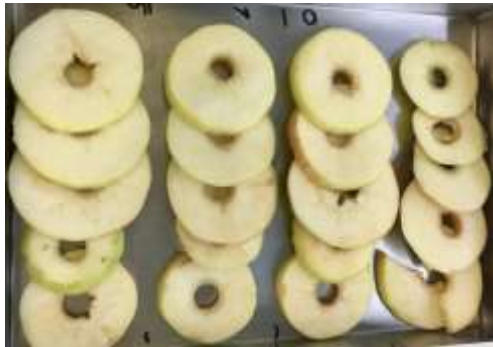
Viinamarjade külmuivatuskatsed



Euroopa Maasüsiühendus
Eesti Maaülikool
Eesti Maaülikooli
Eesti Maaülikool



Õunte külmuivatuskatsed



Piparmündi külmuivatuskatsed



Suur tänu kuulamise eest!



Kirjandus

1. Ciurzyńska A, Lenart A. Freeze-Drying - Application in Food Processing and Biotechnology - A Review. Polish J Food Nutr Sci. 2011.
2. Kasper JC, Friess W. The freezing step in lyophilization: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2011.
3. Maldonado GP, Aguilera JM. CONSIDERATIONS OF ICE MORPHOLOGY AND DRIVING FORCES IN FREEZE CONCENTRATION.
4. Kuang-Cheng Yu, Chien-Cheng Chen, Pei-Cheng Wu. Research on Application and Rehydration Rate of Vacuum Freeze Drying of Rice. J Appl Sci [Internet]. 2011;11(3):535–41
5. Welte-Chanes J, Vergara-Balderas F, Pérez-Pérez E, Reyes-Herrera A. Fundamentals and new tendencies of freeze-drying of foods (Fundamentos y nuevas tendencias en la liofilización de alimentos).
6. Ratti C. Freeze-Drying Process Design. In: Handbook of Food Process Design. 2012.

