

# Extracció amb CO<sub>2</sub> supercrític:

## II. Aplicacions a la indústria alimentària

**RESUM:** *La tècnica d'extracció amb fluids supercrítics (ESC) a la indústria alimentària i amb CO<sub>2</sub> com a dissolvent està plenament establerta, sobretot en processos de descafeïnat de cafè i te, extracció de llúpol, extracció d'aromes i sabors d'espècies i herbes aromàtiques i separació del colesterol de la mantega, la carn i el rovell de l'ou. L'ESC és una tècnica de separació respectuosa amb el medi ambient i pot substituir progressivament molts dels processos d'extracció realitzats amb dissolvents orgànics, que són en general potencialment tòxics, inflamables i tenen un preu elevat. L'ESC presenta un futur encoratjador en processos d'extracció i separació de principis actius en productes naturals pels seus avantatges.*

*El present article correspon a un resum adaptat del treball complet que ha estat publicat en una revisió al Food Science and Technology International (FSTI) (octubre 2002) i constitueix el capítol 5 del llibre sobre tecnologies emergents (gener 2003).*

**SUMMARY:** *The extraction technique with supercritical fluids at food industries, and with CO<sub>2</sub> as a solvent, is fully established, mainly in processes for caffeine extraction in coffee and tea, hops extraction, flavours and fragrances extraction from spices and aromatic herbs, as for cholesterol separation from butter, fats, meat and egg yolk. The SCE is a separation technique that is environmental friendly and can substitute progressively many of the extraction processes that use organic potentially toxic and flammable solvents and have a high cost. SCE shows a pretty good future due to its advantage for extraction and separation processes of active components in natural products.*

*This article corresponds to an adaptation of the original that has been published in a Review at Food Science and Technology International (FSTI) (2002, October) and is the 5th chapter of the book about Emergent Technologies (2003, January).*

### INTRODUCCIÓ

**L**es aplicacions de l'ESC pràcticament s'han desenvolupat en tots els camps industrials, i han destacat principalment la indústria alimentària, la farmacèutica, la química i la producció d'energia (pionera en processos ESC). Actualment es poden trobar

també aplicacions en altres camps, com ara la indústria biotecnològica, electrònica, mecànica, òptica, automoció i cosmètica, entre d'altres.

L'ESC s'utilitza amb èxit en processos extractius per separar substàncies pures del seu material d'origen i també s'ha desenvolupat en processos de modificació d'estructures (nucleació de partícules),

**J. J. CALABUIG, D. ASENSIO  
I MERCÈ RAVENTÓS**

Escola Superior d'Agricultura  
de Barcelona (ESAB)  
Universitat Politècnica  
de Catalunya (UPC)

neteja de materials (electrònica, mecànica), esterilització i inactivació de microorganismes, reaccions (enzimàtiques, oxidacions d'aigües residuals amb aigua supercrítica per a la seva depuració) i regeneració (catalitzadors i absorbents), entre d'altres.

I s'ha desenvolupat també una nova tècnica analítica, molt utilitzada actualment, que és la cromatografia supercrítica (CFS o CSC), que utilitza el fluid supercrític (FSC) de fase mòbil.

A continuació s'exposa una relació de les aplicacions de l'ESC, facilitada per l'empresa Riera Nadeu, SA, de Barcelona, el 1997:

### **Indústria alimentària**

- Extracció de colorants naturals
- Extractes d'espècies (vainilla, pebre, nou moscada i molts d'altres)
- Extracció d'olis essencials
- Extracció d'aromes i sabors
- Eliminació de greixos animals (llet, rovell d'ou)
- Eliminació d'àcids grassos lliures
- Desodorització i desacidificació d'olis i greixos
- Fraccionament de l'oli de fetge de bacallà
- Extracció de proteïnes sense greixos
- Extracció d'èsters d'àcids grassos
- Extracció del colesterol d'olis de peix i carn vermells
- Fraccionament dels àcids grassos de la llet, la mantega i aïllament del colesterol
- Desgreixat d'aliments
- Refinat d'olis naturals
- Purificació de monoglicèrids
- Separació de fosfàtids (lecitina i d'altres)
- Extracció d'olis i greixos vegetals (llavors de cotó, nabina, gira-sol, oliva, ametlla, coco, blat i blat de moro)
- Extracció de midó sense greixos
- Obtenció de cacau desgreixat en pols

### **Begudes**

- Extracte de llúpol
- Extracció d'aromes i sabors per a begudes suaves

# **El CO<sub>2</sub> extrau exclusivament la cafeïna del cafè, i així aconseguix un producte de qualitat òptima**

- Descafeïnat de cafè, destejat de te i recuperació de la cafeïna
- Extracció de components aromàtics de suc de fruita
- Reducció del contingut alcohòlic
- Inactivació de la pectinesterasa del suc de taronja
- Desalcoholització de begudes alcohòliques

### **Indústria cosmètica**

- Extracció de colorants naturals
- Extracció d'olis i olis essencials
- Extracció de lanolines

### **Indústria farmacèutica**

- Producció de principis actius
- Extracció d'herbes, arrels i tiges amb propietats medicinals
- Aïllament de vitamines naturals
- Extracció i aïllament de substàncies greixoses associades (lecitina, tocoferols, àcids grassos)
- Separació d'alcohols polihídrics (glicols, sorbitol, inositol)
- Separació etanol-aigua i dissolvents orgànics-aigua
- Extracció de penicil·lina, esteroides
- Recuperació d'antibiòtics de medis de fermentació
- Producció d'alcaloides partint de productes naturals

### **Biotecnologia**

- Procés sense residus (*downsfree*) per a recuperació de productes
- Reactor per augmentar les reaccions enzimàtiques
- Producció integrada / sistema de recuperació

### **Indústria química**

- Regeneració de catalitzadors
- Regeneració d'absorbents
- Extracció d'alcohols, aldehids i furfural de solucions aquoses

- Tecnologia de cristallització
- Separació d'isòmers.

## **1. CAFÈ DESCAFEÏNAT MITJANÇANT EXTRACCIÓ SUPERCRÍTICA**

El cafè és una beguda mundialment consumida pel seu agradable sabor i aroma i el seu efecte estimulants, produït per la cafeïna. Actualment hi ha una important demanda de cafè descafeïnat, el qual ha de mantenir el sabor i l'aroma característics, i per extraure la cafeïna s'han d'utilitzar mètodes que no presentin cap risc potencial per a la salut humana.

Tradicionalment, en àmbit industrial, el descafeïnat de cafè s'ha obtingut mitjançant el tractament amb aigua o realitzant una extracció directa amb dissolvents orgànics. Amb ambdós mètodes hi ha una pèrdua molt important de les característiques sensorials del cafè original, a causa que l'aigua i els dissolvents orgànics tenen poca selectivitat i extrauen cafeïna juntament amb olis, pigments i ceres, mentre que el CO<sub>2</sub> extrau exclusivament la cafeïna del cafè, i així aconseguix un producte de qualitat òptima.

Els avantatges de l'extracció supercrítica amb CO<sub>2</sub>, en l'extracció de cafeïna del cafè, són:

— l'absència de dissolvent en el cafè descafeïnat (el CO<sub>2</sub> s'evapora a temperatura ambient),

— el mínim deteriorament de substàncies sensibles a la calor (temperatures de treball moderades), i

— la mínima degradació proteica.

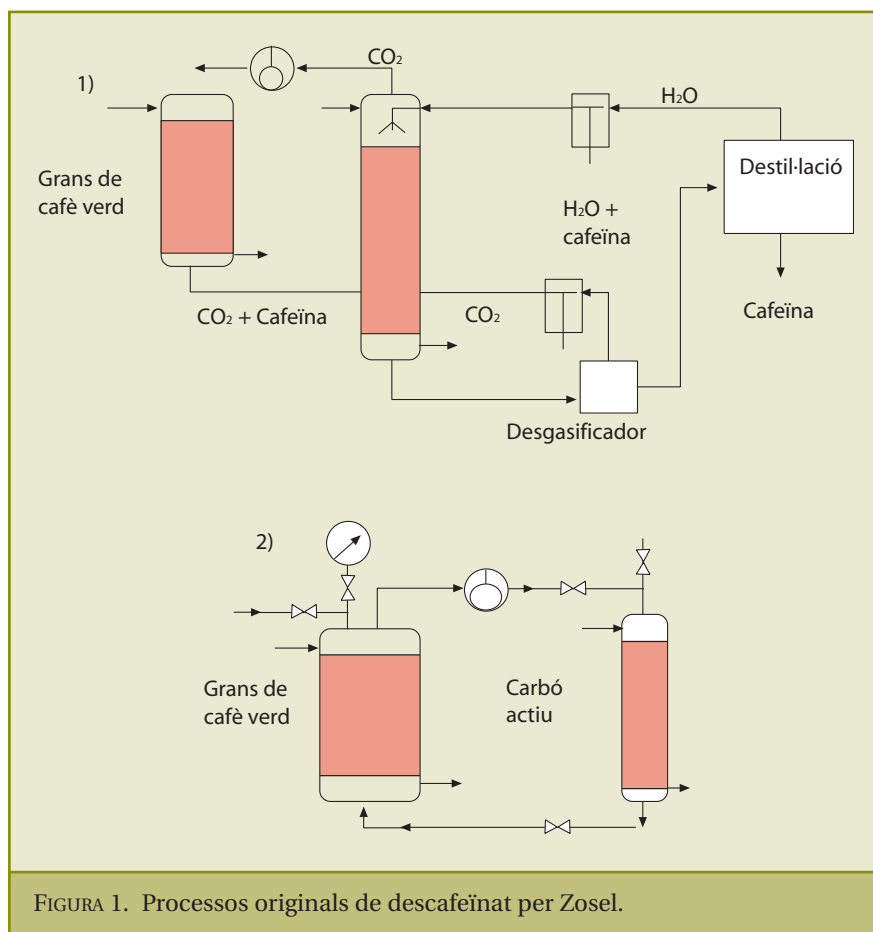


FIGURA 1. Processos originals de descafeïnat per Zosel.

cas es pot recuperar la cafeïna molt pura mitjançant una destil·lació, i en el segon cas és pràcticament impossible separar-la.

El cafè descafeïnat es recull de l'extractor i es deshumidifica fins a assolir el seu percentatge d'humitat natural (entre el 10 i el 12 % en pes). El seu contingut inicial de cafeïna del gra passa de l'1-3 % al 0,02 % final, i es necessiten de 3 a 5 litres d'aigua per cada quilogram de cafè tractat. La legislació marca que en el cafè descafeïnat pot quedar com a màxim un 0,1 % de cafeïna residual.

## 2. DESTEÏNAT DE TE

El te és un producte de gran acceptació en àmbit mundial per la seva aroma i el seu sabor i pel seu efecte estimulants, produït per la teïna, que és el mateix alcaloide que la cafeïna, però que s'anomena així quan es troba en el te.

El te té un percentatge de teïna entre el 2 i el 3,5 %, i en els darrers anys hi ha hagut una demanda creixent de te desteïnat, que segons la legislació ha de contenir menys del 0,1 % de cafeïna teïna.

El desteïnat es realitza sobre la fulla de te seca, fermentada i hidratada prèviament a l'extracció. L'extracció directa amb dissolvents produeix una lleu pèrdua d'aromes i sabor, i queda un producte final lleugerament diferent del te no tractat.

El procés d'extracció amb CO<sub>2</sub> supercrític es pot realitzar en tres etapes per evitar les pèrdues d'aroma i sabor, seguint el procés següent:

1. Les fulles humides s'introdueixen a l'extractor, es mesclen amb el CO<sub>2</sub> supercrític a una temperatura d'entre 45 i 75 °C i a una pressió de 250-300 bar, i s'obté així un extracte d'aromes en el CO<sub>2</sub>, que es recull.

2. A les fulles ja desaromatitzades s'afegeix CO<sub>2</sub> saturat amb aigua a 50 °C i 250 bar de pressió, així s'extrau la teïna, i s'assequen a 50 °C al buit.

La rendibilitat de l'extracció té valor afegit, a més del descafeïnat del cafè: s'obté la cafeïna, que és un alcaloide d'elevat preu a la indústria alimentària i a la farmacèutica.

Normalment, l'extracció de la cafeïna es realitza tractant el gra en verd, ja que si es fa sobre el cafè torrat (que té aproximadament la mateixa quantitat de cafeïna que el cafè verd), s'extrau la mateixa quantitat de cafeïna, però el procés és més agressiu, ja que els components aromàtics i de sabor (superiors en el torrat) es veuen més afectats, i això

fa disminuir la qualitat final del cafè descafeïnat.

El procés bàsic d'ESC amb CO<sub>2</sub> de la cafeïna (molt soluble en CO<sub>2</sub> supercrític) es realitza en discontinu, i les condicions d'extracció estan entre els 160 i els 220 bar de pressió, i entre els 60 i els 90 °C de temperatura. En aquestes condicions, la cafeïna es difon fora del gra de cafè i se solubilitza amb el CO<sub>2</sub>, per aconseguir una extracció d'esgotament.

La separació de la cafeïna del CO<sub>2</sub> a la sortida de l'extractor es pot realitzar per rentat amb aigua o per absorció en carbó actiu. En el primer

**Normalment, l'extracció de la cafeïna es realitza tractant el gra en verd**

3. I a les fulles de te assecades, desaromatitzades i desteïnades s'expandeix el CO<sub>2</sub> procedent de la primera etapa, i queda un te descafeïnat de característiques molt similars al te natural.

El te és un material fibrós i generador de mucíl·lags, que pot crear aglomeracions indesitjables a l'extractor que paralitzin totalment el procés. Això es pot evitar amb un disseny correcte i realitzant controls del procés molt estrictes, principalment en els paràmetres de velocitat del flux, i mida i densitat de la partícula.

El desteïnat de te pot seguir altres vies:

— Un segon mètode redueix el temps d'extracció entre 1 i 4 hores, utilitzant dins l'extractor capes de carbó actiu. S'introdueix el te humitejat entre el 15 i el 50 %, en condicions de 250-350 bar de pressió i 50-80 °C de temperatura: s'aconsegueix extraure la teïna en menys temps i utilitzant menys CO<sub>2</sub>, però la teïna no és recuperable.

— I en el tercer mètode, un corrent de CO<sub>2</sub> supercrític arrossega tant la teïna com l'aroma i el sabor de les fulles de te, es renta amb aigua per eliminar només la teïna, i queden els components de l'aroma i el sabor encara en el fluid supercrític. Se separen després del fluid supercrític per descompressió i s'afegeixen a les fulles de te, i queda finalment un producte de qualitat excel·lent.

## Actualment, més del 80 % de l'extracció de llúpul es realitza mitjançant CO<sub>2</sub> en estat supercrític

### 3. EXTRACCIÓ DE LLÚPOL

Actualment, per a la fabricació de cervesa s'utilitzen amb molta freqüència els extractes de llúpul, perquè són més uniformes, estables, estandarditzats i d'inferior volum, i així en faciliten la manipulació i el transport.

Aquests extractes estan compostos de resines toves (humulones i lupulones) i olis essencials, que produeixen l'amargor, el sabor i l'aroma característics de la cervesa.

Tradicionalment, els extractes de llúpul s'han obtingut mitjançant dissolvents orgànics que s'havien de separar per destil·lació, i deixaven encara residus, sempre inferiors al que està legislat. Però amb CO<sub>2</sub> en estat supercrític no cal fer la destil·lació i no es produeixen residus, perquè se separa de l'extracte durant la despressurització, i l'extracció d'humulones és superior al mínim necessari del 95 % (quasi el 99 %), com es pot comprovar a la taula 1.

Actualment, més del 80 % de l'extracció de llúpul es realitza mitjançant CO<sub>2</sub> en estat supercrític.

L'ESC de llúpul amb CO<sub>2</sub> enfront de l'extracció convencional presenta els avantatges següents:

1. L'extracte de llúpul queda totalment lliure de dissolvents.

2. Els pesticides utilitzats a l'agricultura no són extrets, ja que es poden extraure diferents fraccions de diversa composició amb una selectivitat elevada.

3. No es produeixen oxidacions en el procés.

4. Els components més importants, els  $\alpha$ -àcids (humulones), no es polimeritzen.

El procés d'extracció necessita un tractament previ sobre el llúpul, que consisteix en un assecat, un mòlt i una formació de petites boletes (de densitat aproximada de 0,65 g/cm<sup>3</sup>), per aconseguir rendiments superiors.

En l'extracció, el CO<sub>2</sub> supercrític es barreja amb el llúpul en l'extractor, en condicions òptimes de 40 °C i 200 bar (fins a 80 °C si l'extracció és d'esgotament).

TAULA 1. Anàlisi de llúpul extret amb CO<sub>2</sub> (Hubert i Vitzthum, 1978)

Contingut (%)	Llúpul		Extracte CO <sub>2</sub>	Grau d'extractat	Extracte comercial
	Inicial	Final			
Aigua	6,0	5,4	7,0	–	8,0
Total resines	30,3	4,3	90,0	89,9	88,5
Resines suaus	26,6	1,3	84,4	96,5	82,0
$\alpha$ -àcids (humulones)	12,6	0,2	41,2	98,9	39,5
$\alpha$ -àcids (lupulones)	14,0	1,1	43,6	94,4	42,5
Resines dures	3,7	3,0	5,2	–	6,5

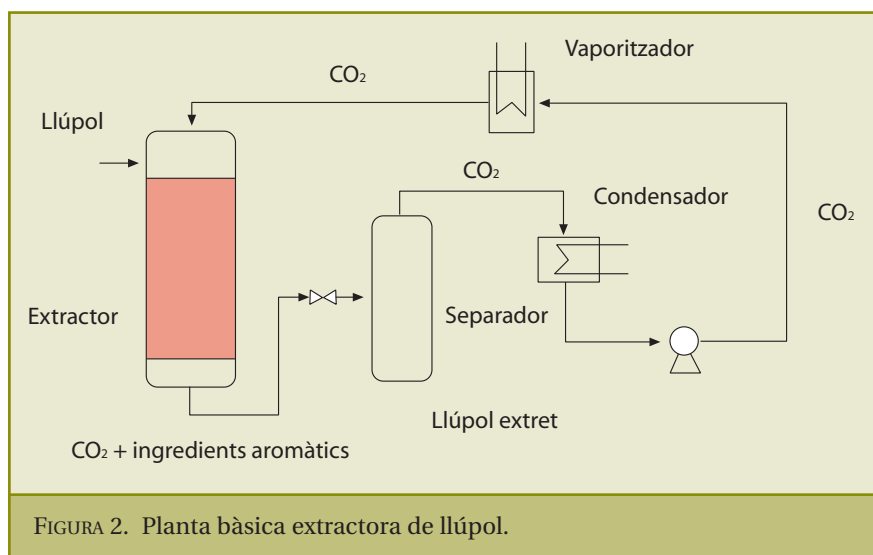


FIGURA 2. Planta bàsica extractora de llúpol.

La separació de l'extracte i el fluid supercrític s'aconsegueix en fer-lo passar per una vàlvula d'expansió que realitza la descompressió, mantenint la temperatura per sobre de la temperatura crítica del CO<sub>2</sub>, i causa la reducció de la densitat del CO<sub>2</sub> i, per tant, la separació de l'extracte. Aquest extracte té una composició total de major quantitat i qualitat que el que s'obté amb els mètodes tradicionals d'extracció amb dissolvents.

Les plantes d'ESC actuals permeten l'extracció de llúpol tant amb CO<sub>2</sub> subcrític com supercrític, i aconsegueixen amb el primer un extracte de primera qualitat, i amb el segon un esgotament total del producte.

#### 4. ESPÈCIES I HERBES AROMÀTIQUES. AROMES I SABOR

La indústria de les aromes i els sabors és la tercera àrea important en àmbit comercial de l'extracció subcrítica i supercrítica, juntament amb el descafeïnat de cafè i te, i l'extracció de llúpol.

La major utilització d'extractes, en comptes del producte original, és deguda al fet que són més estables, uniformes, estèrils i manipulables, i fins i tot permeten elaborar mesclades d'aromes molt útils en la fabricació d'aliments.

La gran majoria dels compostos responsables de l'aroma i el sabor són solubles en CO<sub>2</sub>, tant supercrític com subcrític, cosa que permet una extracció fàcil, i una obtenció d'olors i gustos més naturals, més propers al producte original, que en la destil·lació o amb l'ús de dissolvents orgànics.

Els productes pioners en àmbit comercial van ser el pebre negre, la nou moscada i el picant (procedent dels xilis). Actualment, es poden trobar un gran nombre d'extractes, com ara l'anís, l'alfàbrega, el pebrot, la pastanaga, l'api, el cacau, el cafè, el fonoll, el gingebre, l'orenga, la farigola i la vainilla, entre d'altres.

El primer pas del procés d'extracció es realitza en dos o tres extractors en sèrie, on s'introdueix la matèria primera i el CO<sub>2</sub> en estat supercrític. Els paràmetres de temperatura i pressió depenen molt del tipus d'espècie o herba (sol adaptar-se al límit de descomposició dels compostos termolàbils que s'han d'extraure). Generalitzant, i per una extracció d'esgotament, la pressió està entre 200 i 400 bar i la temperatura entre 40 i 80 °C.

El segon pas és la separació (normalment en un sol separador) de les aromes i els sabors del CO<sub>2</sub> supercrític, reduint la pressió i/o la temperatura, justament per sota o per sobre del punt crític del CO<sub>2</sub> (73,8 bar i 31,6 °C).

A vegades s'utilitzen diferents separadors (fraccionament en etapes), quan interessa separar components amb estructures químiques molt similars (com els olis essencials dels lípids). En aquest cas, es van disminuint les condicions de pressió i temperatura en cadascun dels separadors.

#### 5. COLESTEROL I FRACCIONAMENT DE GREIXOS ANIMALS

L'obtenció de productes amb baix nivell de colesterol (component essencial de les membranes cel·lulars de tots els òrgans animals) és un tema de creixent interès en la indústria alimentària, sobretot pel seu efecte negatiu en la salut humana, ja que augmenta el risc d'arteriosclerosi.

Els mètodes tradicionals de separació del colesterol no són selectius i extrauen, a més, diferents fraccions de triglicèrids a la vegada. L'avantatge addicional que presenta l'ESC és el fraccionament del colesterol en els diferents compostos que conté.

El fraccionament del greix d'origen animal amb CO<sub>2</sub> supercrític té un gran futur en la indústria alimentària, ja que és un requisit previ per realitzar l'extracció del colesterol i, per si mateix, perquè s'obtenen fraccions lipídiques diferents (amb punts de fusió similars) que permeten obtenir productes de molt alta qualitat, com ara llets dietètiques per a consum infantil, hamburgueses d'alt sabor però sense greix, ou sense colesterol i olis de peix per enriquir aliments, entre d'altres.

L'ESC en aliments d'origen animal presenta un futur encoratjador a no gaire llarg termini, com és el cas del fraccionament del greix làctic, que possibilitaria el desenvolupament de nous ingredients amb propietats funcionals i nutricionals, d'ús en nombroses formulacions alimentàries.

##### Fraccionament del greix làctic

El greix làctic és una mescla de triglicèrids saturats (70 %) i insaturats (30 %), i conté també un petit per-

centatge de colesterol; els punts de fusió estan entre -40 i 40 °C, i això fa que la seva utilització sigui molt reduïda.

En el fraccionament del greix de la llet amb CO<sub>2</sub> supercrític, generalment s'obtenen tres fraccions de triglicèrids d'elevat (C54-42), mitjà (C40-36) i baix (C34-24) pes molecular.

El procés de fraccionament s'ha aplicat principalment a sistemes d'extracció en continu, ja que el greix làctic es pot bombejar a alta pressió, igual que el CO<sub>2</sub> supercrític (extracció líquid-fluid). Això permet reduir els temps morts, i així augmentar la rendibilitat del procés.

Les condicions del fraccionament es realitzen (després de mesclar-los a l'extractor) en tres o quatre separadors, reduint progressivament la pressió de 240 a 34 bar i augmentant la temperatura de 40 a 70 °C gradualment.

I s'obté un refinat que presenta menys colesterol, és ric en triglicèrids insaturats i β-carotè, i és molt apreciat en llets funcionals enriquides, mantegues, gelats i formatges.

### Extracció d'olis de peix

El CO<sub>2</sub> supercrític s'ha aplicat principalment a l'extracció d'àcids grassos poliinsaturats omega-3 molt valorats en la indústria alimentària, ja que prevenen malalties cardiovasculars i són utilitzats per enriquir nombrosos productes elaborats. També s'ha aplicat en l'obtenció de concentrats proteics amb baix contingut en lípids. I per a l'extracció d'olis de peix amb baix contingut en fosfolípids, en què s'aconsegueix una font d'energia de peixos poc valorats.

En general, el procés d'extracció dels olis de peix es realitza en unes condicions de pressió entre 200 i 359 bar i una temperatura d'entre 30 i 50 °C, en discontinu.

### Extracció de colesterol i lípids del rovell de l'ou

El rovell de l'ou s'utilitza molt a la indústria alimentària, a causa de les propietats emulsionants de les seves

## En el fraccionament del greix de la llet amb CO<sub>2</sub> supercrític, generalment s'obtenen tres fraccions de triglicèrids

lipoproteïnes, però el rovell de l'ou conté un 31 % de lípids i un 1,3 % de colesterol. L'ús de dissolvents orgànics directament sobre el rovell ocasiona la desnaturalització de les proteïnes, que redueix l'estabilitat de les emulsions elaborades amb el producte tractat.

Per tant, l'extracció supercrítica és una alternativa que cal tenir en compte.

La matèria primera és rovell d'ou en pols (millor que hidratat) i les condicions d'extracció són de 150, 300, 500 bar de pressió i entre 40 i 50 °C segons diferents fonts. La reducció de colesterol arriba al 70 % aproximadament.

### Extracció de greix i colesterol de la carn

L'extracció supercrítica en productes carnis és molt recent. Els productes que s'han provat amb èxit, amb els quals s'han obtingut millors rendiments, han estat, en general i sobretot, els deshidratats i picats (pollastre, vedella o porc): s'ha arribat al 96 % d'extracció de greix sobre el contingut inicial. Mentre que els productes d'elevat volum i molt hidratats tenen moltes dificultats d'extracció.

Les condicions d'extracció oscil·len entre 100 i 300 bar de pressió i de 30 a 50 °C.

## 6. DESALCOHOLITZACIÓ DE BEGUDES ALCOHÒLIQUES

L'increment de la demanda de begudes amb baix contingut en alcohol, que conservin les seves característiques sensorials típiques, ha portat al desenvolupament de nous mètodes alternatius a l'extracció convencional d'etanol, entre els quals es troba l'ESC amb CO<sub>2</sub>.

El contingut final d'alcohol amb l'ESC en aquests productes oscil·la entre un 0,5 i un 1 % en volum. I ha tingut èxit, en àmbit experimental, sobretot en les aplicacions en begudes de baix i mitjà contingut en alcohol (cervesa, vi, sidra i licors d'aromes i sabors).

Es poden utilitzar diferents mètodes per reduir el contingut en etanol de les begudes alcohòliques, que es poden dividir en dues categories:

1. Producció limitada d'alcohol: s'aconsegueix restringint el procés de fermentació, però les begudes no desenvolupen les seves caracterís-

**En general, el procés d'extracció dels olis de peix es realitza en unes condicions de pressió entre 200 i 359 bar i una temperatura d'entre 30 i 50 °C, en discontinu**

tiques organolèptiques plenament, i, per tant, l'aroma i el sabor són molt diferents de les begudes originals.

2. Eliminació de l'alcohol després de la fermentació per destil·lació o tècniques amb membranes (osmosi inversa i diàlisi): en aquest cas, alguns components poden ser desnaturalitzats o eliminats alterant el sabor i l'aroma de les begudes. La destil·lació necessita més gran quantitat d'energia que no pas l'ESC.

3. Les sals i l'aigua no són eliminades amb el CO<sub>2</sub>, les proteïnes i carbohidrats no s'extrauen ni es desnaturalitzen, i la recuperació d'aromes és bona: així s'aconsegueix un producte d'alta qualitat molt similar a l'original.

El procés d'extracció de l'etanol d'una beguda alcohòlica amb CO<sub>2</sub> es realitza normalment en continu a contracorrent, sense temps morts i amb inferiors costos que el sistema discontinu. Es realitza en unes columnes extractores d'etapes de

d'una vàlvula de descompressió, i descendeix dràsticament el poder dissolvent del CO<sub>2</sub>, que passa a estat gasós, i es produeix la precipitació automàtica de l'etanol al separador.

Les condicions òptimes per a l'extracció de l'etanol depenen del tipus de beguda alcohòlica, però generalment els valors oscil·len entre els 80 i els 120 bar de pressió i entre els 15 i els 40 °C.

Si la temperatura és molt elevada en el procés d'extracció, existeix risc de descomposició de components aromàtics i de formació de carbonat d'etil; per això, mai s'ha de sobrepassar la temperatura de 40 °C.

També es pot aplicar l'ESC a productes de fermentacions on l'interès exclusiu és l'obtenció d'etanol, sense que importi el refinat, on s'extrau el 100 % d'alcohol. Les condicions d'extracció són extremes: la pressió oscil·la entre 60 i 300 bar i la temperatura entre 20 i 100 °C.

Existeixen variants del mètode bàsic, en les quals el procés es realitza en tres fases:

1. S'extrauen els components de l'aroma i el sabor de la beguda alcohòlica amb CO<sub>2</sub> supercrític a pressions baixes i flux petit o amb carbó actiu.

2. Un cop desaromatitzada i desodoritzada, s'extrau l'alcohol per ESC com en el mètode bàsic.

3. Al producte refinat obtingut, sense alcohol ni aroma ni sabor, s'hi afegeixen les aromes i els sabors extrets en la primera fase.

## El procés d'extracció de l'etanol d'una beguda alcohòlica amb CO<sub>2</sub> es realitza normalment en continu a contracorrent, sense temps morts i amb inferiors costos que el sistema discontinu

Els avantatges que presenta l'ESC amb CO<sub>2</sub> són els següents:

1. L'eficàcia de la separació és molt superior que en la destil·lació; per tant, s'augmenta el rendiment energètic.

2. Les temperatures d'extracció són moderades (entre 15 i 40 °C); per tant, es respecten els components termolàbils, que són part important de l'aroma i el sabor.

contacte múltiple on s'introdueixen, bombejats contínuament, el CO<sub>2</sub> supercrític i la beguda alcohòlica. La beguda flueix descendint i es posa en contacte amb el corrent ascendent de CO<sub>2</sub> supercrític.

Durant el contacte entre la fase rica en CO<sub>2</sub> supercrític i la dissolució etanol aigua, es produeix una extracció preferent de l'etanol.

Per a la separació de l'extracte (CO<sub>2</sub> + etanol), s'expandeix a través

TAULA 2. Condicions de pressió i temperatura per a la desalcoholització ESC de diferents productes

Producte	Pressió (bar)	Temperatura (°C)
Vi	100	40
Cervesa	80-120	15-40
Vinagre	100	40
Sidra	80-250	20-40
Begudes d'alt percentatge en alcohol	90-150	15-40

## 7. EXTRACCIÓ D'OLI DE LLAVORS

Des de fa uns quants anys, es coneixen els efectes beneficiosos que els olis vegetals exerceixen en l'ésser humà a causa fonamentalment de l'elevat nombre d'àcids grassos insaturats i el seu valor energètic.

S'estan realitzant nombroses investigacions en el camp de l'extracció supercrítica amb CO<sub>2</sub> d'oli de llavors, encara que fins al moment

no s'han comercialitzat per al consum humà.

Els olis investigats han estat nombrosos, entre els quals hi ha olis de blat i blat de moro, llavors de raïm, soia, cacauet, gira-sol, oliva i segó d'arròs, entre d'altres.

També es poden trobar altres aplicacions del CO<sub>2</sub> supercrític en llavors, com poden ser el desgomat de l'oli de soia, la separació de greix per obtenir farines o productes amb contingut lipídic reduït, la desadificació d'oli d'oliva, la desodorització de soia i palma, el fraccionament d'olis per a l'obtenció de fosfolípids, i molts més.

El procés d'extracció es realitza en discontinu, en les columnes extractores es mescla la llavor amb el CO<sub>2</sub> supercrític. Les condicions per a l'extracció són bastant variables i depenen del tipus de matèria primera i l'extracte que es desitgi obtenir. Així, per exemple, per a l'oli de llavor de raïm les condicions més adequades són: pressió de 250 bar i temperatura de 40 °C; i per a l'oli de blat són: pressió de 150-200 bar i temperatura de 40-60 °C. En els dos processos, el temps d'extracció és de dues hores i el flux de CO<sub>2</sub> és d'1,5 litres/minut.

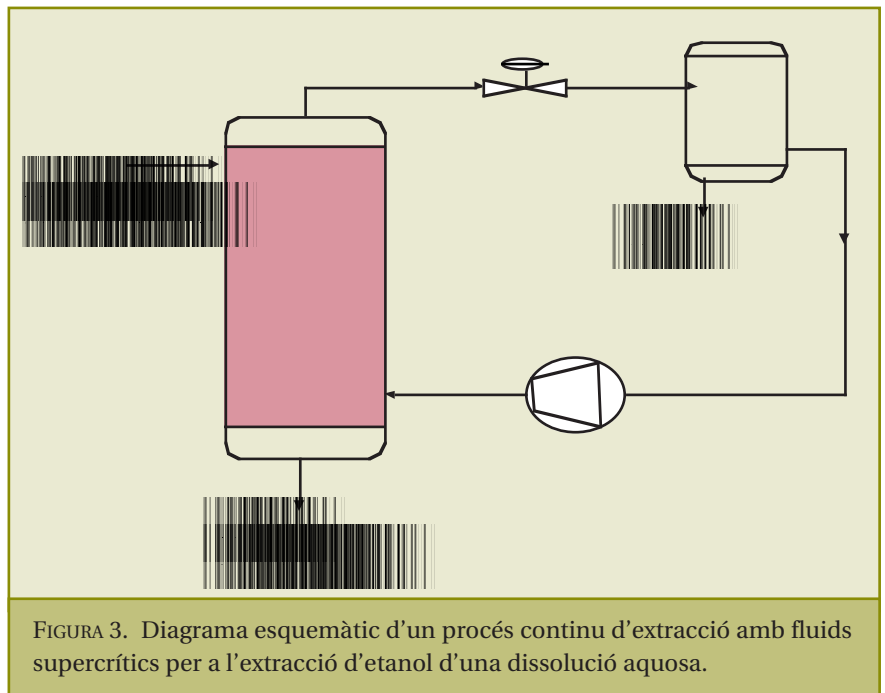


FIGURA 3. Diagrama esquemàtic d'un procés continu d'extracció amb fluids supercrítics per a l'extracció d'etanol d'una dissolució aquosa.

El sistema de separació sol ser la descompressió en una sola fase, reduint la pressió isobàricament sobre el punt crític del CO<sub>2</sub>.

L'oli obtingut és de qualitat superior a l'extret amb dissolvents líquids, i s'eliminen dues etapes que són, d'una banda, la recuperació del dissolvent per destil·lació i, de l'altra, el refinat.

#### BIBLIOGRAFIA

- RAVENTÓS, M.; DUARTE, S.; ALARCÓN, R. (2002). «Application and possibilities of supercritical CO<sub>2</sub> extraction in food processing industry: an overview». *Food Science and Technology International*, 5, p. 269-284. [ISSN 1082-0132]

