

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Química

Títol: Efecte de la temperatura d'extracció i el grau de torrat d'un cafè en gra en les propietats físicoquímiques i sensorials d'un cafè espresso

Document: Memòria

Alumna: Cristina Caballero Ruiz

Tutor: Núria Fiol

Departament: Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria Juny 2015

RESUM

El cafè és una de les begudes que més es consumeix a nivell mundial. El seu consum és molt variable i depèn en gran mesura de la forma com es consumeix i de la seva qualitat. El cafè espresso és una de les millors formes de consumir-lo, ja que és el més apropiat per extreure substàncies aromàtiques que provoquen diferents tipus de sensacions, sobretot organolèptiques. Aquest es prepara amb una màquina a pressió i temperatura determinada, on l'aigua calenta passa a través de les partícules de cafè torrat i mòlt en un temps molt curt, donant com a resultat final una capa de crema a la part superior i una solució aquosa de sucres, àcids, proteïnes i sòlids.

La temperatura d'extracció és un paràmetre clau per l'obtenció d'un bon espresso, tal com s'ha demostrat en diversos estudis. Les màquines tradicionals de cafè només permeten fixar una temperatura d'extracció, que es manté constant durant el temps d'extracció del cafè.

Recentment s'han començat a desenvolupar màquines de cafè, que permeten variar la temperatura de l'aigua durant el procés d'extracció, o el que s'anomena extracció amb corbes o rampes de temperatura. Les primeres màquines de cafè comercialitzades amb aquestes característiques són les de la gamma XCelsius de la marca Rancilio.

Durant els darrers anys a la Universitat de Girona s'ha realitzat un estudi que ha demostrat que l'ús de diferents corbes de temperatura durant el procés d'extracció, utilitzant un mateix cafè, provoca una extracció en major o menor grau dels compostos del cafè, donant com a resultat espressos amb característiques molt diferents.

Per altra banda, el grau de torrat del cafè en gra, és un paràmetre molt important, ja que afecta a les característiques d'un espresso. Són molts els autors que han estudiat l'efecte del grau de torrat en algunes propietats físicoquímiques del cafè en tassa, però sempre han utilitzat una temperatura d'extracció fixa per extreure el cafè.

En aquest treball s'intenta anar més enllà i observar com les rampes de temperatura i el grau de torrat, afecten als paràmetres físicoquímics del cafè espresso. Com que aquests es poden relacionar amb algunes propietats organolèptiques dels espressos, es pretén descriure com l'ús de corbes de temperatura i diferent grau de torrat poden afectar als descriptors del cafè en tassa.

L'estudi es realitza amb tres graus de torrat diferents d'un mateix cafè en gra: un grau de torrat lleuger (4/10), un grau de torrat mitjà (7/10) i un grau de torrat intens (9/10). Per cada grau de torrat, l'elaboració dels espressos s'efectua mitjançant tres rampes o corbes de temperatura, ascendent (88°C-93°C), fixa (90°C) i descendent (93°C-88°C). La pressió durant l'extracció es manté a 9 bars i el grau de mòlta s'adapta per obtenir 25 mL d'espresso en 25 segons, aproximadament, i a partir de 15 g de cafè mòlt per grup d'extracció (massa per 2 tasses). Els espressos es caracteritzen físicament mitjançant la determinació de l'índex de crema, la consistència, la persistència, el pH, el color, els sòlids totals i sòlids filtrats, i es realitzen els anàlisis químics dels seus principals components com són, els lípids, la cafeïna, els polifenols i l'àcid clorogènic.

Els resultats d'aquest estudi demostren clarament que depenent del grau de torrat del gra i l'ús de rampes de temperatura durant l'extracció s'obtenen espressos amb propietats diferents.

En tots els paràmetres analitzats s'observa que la modificació de la temperatura d'extracció provoca un efecte similar en la variació de la propietat físicoquímica analitzada, independentment del grau de torrat del cafè.

Si es comparen els paràmetres físicoquímics dels espressos obtinguts amb la rampa de temperatura ascendent, 88°C-93°C, amb la temperatura plana de 90°C (temperatura d'extracció habitual), s'obté un espresso amb major contingut de crema i, aquesta també és persistent però menys consistent. És un espresso amb menor acidesa, però té més contingut en sòlids filtrats, sòlids totals i lípids, fet que indicaria més bon cos, és de color marró més clar i amb menys contingut de cafeïna, més contingut de polifenols i més contingut d'àcid clorogènic, que podria indicar que seria més gustós.

En el cas d'utilitzar la rampa de temperatura desendent 93-88°C, comparada amb la temperatura plana de 90°C, permet obtenir un espresso amb un lleuger augment del contingut de crema, la qual és menys persistent en alguns casos, i sempre menys consistent. També és un espresso menys àcid, amb més bon cos ja que augmenta el contingut de sòlids filtrats, sòlids totals i de lípids. D'altra banda, s'obtenen espressos més foscos i amb més gust que l'espresso realitzat a la temperatura de 90°C ja que disminueix el contingut de cafeïna, augmenta el contingut de polifenols i augmenta lleugerament el contingut d'àcid clorogènic. En general però, si es compara amb l'espresso obtingut amb la rampa ascendent, probablement seria menys gustos, ja que els valors determinats són menors.

En aquest treball s'ha determinat que no hi ha cap correlació entre l'índex de crema i el grau de torrat, tot i que cal assenyalar que amb un grau de torrat mitjà s'obté un major índex de crema. La persistència de la crema en tots els casos és bona, excepte quan s'obté un espresso a partir d'un grau de torrat lleuger i amb la temperatura descendent. En el cas de la consistència tampoc s'ha observat cap correlació amb el grau de torrat, però amb el grau de torrat mitjà s'obté una crema més consistent.

El pH dels espressos augmenta a mesura que augmenta el grau de torrat. Per tant amb un grau de torrat més lleuger s'obtenen espressos més àcids.

S'ha determinat que es produeix una disminució dels sòlids filtrats i un augment de sòlids totals quan augmenta el grau de torrat. També el color dels espressos és més fosc a mesura que augmenta el grau de torrat.

En el cas dels lípids s'ha determinat que a mesura que augmenta el grau de torrat disminueix el contingut de lípids.

El contingut de cafeïna i polifenols tendeixen a disminuir lleugerament a mesura que augmenta el grau de torrat. El contingut d'àcid clorogènic també disminueix a mesura que augmenta el grau de torrat, amb major percentatge que la cafeïna i els polifenols.

En conclusió, aquest estudi demostra que l'utilització de rampes o corbes de temperatura amb la màquina de cafè Rancilio XCelsisus permet modificar les

propietats físicoquímiques del cafè en tassa. S'ha comprovat que depenent del tipus de grau de torrat varien algunes de les característiques físicoquímiques: el pH i els sòlids totals s'obté una correlació positiva amb el grau de torrat: un augment de grau de torrat provoca un augment en el valor d'aquests paràmetres. En el cas dels sòlids filtrats, el color, els lípids, el contingut de cafeïna, el contingut de polifenols i pel contingut d'àcid clorogènic s'obté una correlació negativa amb el grau de torrat, i el seu valor del paràmetre disminueix al augmentar el grau de torrat. No s'ha trobat cap correlació entre el grau de torrat i la consistència i l'índex de crema.

AGRAÏMENTS

A pocs dies de finalitzar la carrera d'Enginyeria química m'agradaria agrair a totes aquelles persones que han contribuït en portar aquest projecte a bon port, i sense elles aquest treball no hauria estat possible.

En primer lloc, agrair a la Doctora Núria Fiol, tutora del treball, per haver-me deixat formar part del seu equip, per la seva confiança, el seu constant suport i la orientació, durant tota la trajectòria del projecte. També, donar les gràcies al Doctor Florencio de la Torre i a les tècniques de laboratori, Núria i Gemma per la seva ajuda i disponibilitat alhora de portar a terme alguns anàlisis.

En segon lloc, agrair a les meves amigues que sempre m'han acompanyat i han fet més amè el recorregut.

Per acabar, m'agradaria agrair més que a ningú a la meua família, sobretot als meus pares per haver-me recolzat i aconsellat sempre, així com la paciència mostrada i la estima inqüestionable. I com no, a l'Albert per la seva gran paciència i recolzament durant tot aquest llarg camí.

A tots ells, un plaer.

ÍNDEX

1. Introducció.....	1
1.1 Història del cafè	2
1.2 La planta del cafè	5
1.2.1 Classificació i Origen	7
1.2.2 Caracterització de les espècies Aràbica i Robusta.....	9
1.3 Obtenció del gra de cafè verd.....	11
1.3.1 Collita de cafè	11
1.4 Procés de torrat del cafè.....	15
1.4.1 Fases del procés.....	15
1.4.2 Paràmetres del procés.....	17
1.4.3 Canvis físicoquímics del gra durant el procés de torrat	18
1.5 Molta del cafè	22
1.6 Cafè espresso	23
1.7 Màquina de cafè RANCILIO CLASSE 9	26
1.8 Antecedents	27
1.9 Objectius	28
1.10 Especificacions i abast.....	29
2. Part experimental.....	33
2.1 Preparació de les mostres de cafè espresso.....	34
2.2 Tècniques analítiques	35
2.2.1 Determinació de l'índex de crema	35
2.2.2 Determinació de la persistència	35
2.2.3 Determinació la consistència.....	36
2.2.4 Determinació del volum total.....	36

2.2.5	Determinació del pH.....	37
2.2.6	Determinació dels sòlids filtrats	38
2.2.7	Determinació dels sòlids totals	40
2.2.8	Determinació del color de les mostres de cafè espresso.....	41
2.2.9	Determinació del contingut de cafeïna	43
2.2.10	Determinació de lípids.....	46
2.2.11	Determinació dels polifenols	49
2.2.12	Determinació de l'àcid clorogènic	51
3.	Resultats	54
3.1	Resultats del volum total de les mostres de cafè espresso.....	55
3.2	Resultats de l'índex de crema de les mostres de cafè espresso.....	57
3.3	Resultats de la persistència de les mostres de cafè espresso	59
3.4	Resultats de la consistència de les mostres de cafè espresso.....	60
3.5	Resultats del pH de les mostres de cafè espresso.....	62
3.6	Resultats del contingut de sòlids filtrats del cafè espresso.....	64
3.7	Resultats del contingut de sòlids totals del cafè espresso	66
3.8	Resultats de la diferència de color en les mostres de cafè espresso	68
3.9	Resultats del contingut de cafeïna en el cafè espresso.....	71
3.10	Resultats del contingut de lípids en el cafè espresso	73
3.11	Resultats del contingut de polifenols en el cafè espresso.....	75
3.12	Resultats del contingut d'àcid clorogènic en el cafè espresso	77
4.	Discussions.....	79
5.	Pressupost.....	85
6.	Diagrama de Gantt	88
7.	Conclusions	90
8.	Perspectives de futur	93

8. Bibliografia.....	95
9. Annex.....	100
ANNEX I: Informació detallada del pressupost	101

LLISTAT DE FIGURES

Figura 1. Planta del cafè o cafet	5
Figura 2. Plantacions de cafè en producció	6
Figura 3. Fruit i grans del cafè	6
Figura 4. Àrees de la producció de cafè	7
Figura 5. Principals països productors de C. Aràbica i C. Robusta	8
Figura 6. Gra de cafè verd Aràbica (esquerra) i Robusta (dreta)	10
Figura 7. Cafè Robusta i Aràbica	10
Figura 8. Recollida dels fruits de cafè madurs	11
Figura 9. Procés d'assecat al sol	12
Figura 10. Emmagatzematge dels grans de cafè verd en sacs de jute.	14
Figura 11. Procés de torrat	16
Figura 12. Tipus de torrat del cafè	20
Figura 13. Relació entre amargor/acidesa del cafè en funció del grau de torrat	21
Figura 14. Molinet utilitzat per moldre el cafè torrat	22
Figura 15. Màquina XCelsius classe 9 de la marca RANCILIO	26
Figura 16. Graus de torrat: A. Torrat lleuger B. Torrat mitjà C. Torrat intens	29
Figura 17. Procés d'extracció del cafè espresso	34
Figura 18. Aparell pH-metre Crison 220	37
Figura 19. Equip de filtració al buit	39
Figura 20. Sòlids filtrats	39
Figura 21. Patró de color	42

Figura 22. Característiques del patró	42
Figura 23. Mesurador de color Lovibond i el Pantone.	42
Figura 24. Aparell cromatografia d'HPLC Konik 550A	44
Figura 25. Procés d'extracció líquid-líquid..	48
Figura 26. Equip Gilson 223 Sample Changer.....	50
Figura 27. Espectrofotòmetre Cecil CE2021.....	50
Figura 28. Cromatògraf HPLC Agilen sèrie 1200.....	52
Figura 29. Valors del volum de cafè a les mostres de l'espresso.	55
Figura 30. Índex de crema del cafè espresso.	57
Figura 31. Resultats de la consistència del cafè espresso.	60
Figura 32. Valors del pH del cafè espresso.....	62
Figura 33. Sòlids filtrats del cafè espresso.	64
Figura 34. Contingut de sòlids totals del cafè espresso.	66
Figura 35. Diferència de color de les mostres cafè espresso.	70
Figura 36. Contingut de cafeïna a les mostres de cafè espresso.	71
Figura 37. Contingut de lípids del cafè espresso.....	73
Figura 38. Contingut de polifenols del cafè espresso.....	75
Figura 39. Contingut d'àcid clorogènic del cafè espresso.	77

LLISTAT DE TAULES

Taula 1. Resultats del volum total de cafè en les mostres d'espresso.....	55
Taula 2. Valors d'índex de crema del cafè espresso.....	57
Taula 3. Persistència de la crema dels cafès espresso.	59
Taula 4. Resultats de la consistència del cafè espresso.	60
Taula 5. Resultats del pH del cafè espresso.	62
Taula 6. Resultats dels sòlids filtrats del cafè espresso.....	64
Taula 7. Resultats dels sòlids totals del cafè espresso.	66
Taula 8. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat A: torrat lleuger.....	68
Taula 9. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat B: torrat mitjà.	69
Taula 10. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat C: torrat intens.	69
Taula 11. Resultats del contingut de cafeïna de les mostres de cafè	71
Taula 12. Resultats del contingut de lípids del cafè espresso	73
Taula 13. Resultats del contingut de polifenols del cafè espresso	75
Taula 14. Resultats del contingut d'àcid clorogènic.	77

1. Introducció

1.1 Història del cafè

Hi ha moltes versions sobre quin és l'origen del cafè, com també moltes llegendes. Sembla que la planta del cafè és originària de Pèrsia o Etiòpia. No es coneix exactament el moment en què la primera persona va descobrir els efectes de la planta del cafè i va preparar una beguda a partir de les llavors, però hi ha diverses històries sobre els seus orígens. Es considera que va ser un botànic alemany Léonar Rauwolf qui, per primera vegada, va descriure el cafè en un llibre publicat el 1583.

Se suposa que els homes primitius, imitadors dels costums dels animals, van observar com algunes plantes els atreïen. Aquesta seria la justificació perquè, des de molt primerenques èpoques de la història, l'home mastegava cafè. Alguns fruits madurs del cafè són de gust dolç i els estimulants que contenen generen sensació de benestar.

Sembla que les tribus africanes, que sabien del cafè des de l'antiguitat, molien els seus grans i elaboraven una pasta utilitzada per alimentar els animals i augmentar les forces d'aquests. El seu cultiu es va estendre en primer lloc en Aràbia, portat probablement per persones de guerra, i on es va popularitzar aprofitant la prohibició de l'alcohol per l'Islam. El Iemen va ser un centre important de cultiu, des d'on es va propagar a la resta del món àrab.

Les dades arqueològiques disponibles avui dia suggereixen que el cafè no va ser tractat abans del segle XV: el procés d'elaboració de la beguda, llarg i complex, explica potser el descobriment tardà de les virtuts de les llavors del cafè, poc atractives inicialment. Recents descobriments (1996) d'un equip arqueològic britànic, deixen entreveure la possibilitat que el consum comencés a partir del segle XII, a Aràbia (*mundodelcafe.com*).

El que sembla ser cert és que el cafè es va començar a consumir en els planells d'Abissínia, anomenada Aràbiga, on creix en forma silvestre. D'Etiòpia va passar a Aràbia i a l'Índia, probablement a través de pelegrins musulmans que viatjaven a la Meca, ja que les rutes de peregrinació van ser al mateix temps, durant segles, grans

rutes comercials. Però els grans propagadors del cafè van ser els holandesos, que van explotar grans plantacions del mateix en les seves colònies de Ceilan i Indonèsia. Ells van ser els importadors del cafè i els que el van aclimatar als jardins botànics d'Amsterdam, París i Londres, des d'on va passar a la Guaiana holandesa, a Brasil, a Amèrica Central i a molts països. Gràcies a això, en tres segles, aquesta infusió ha passat a ser gairebé desconeguda a esdevenir una beguda universal que Bach, Balzac, Beethoven, Napoleó, Rossini i molts altres personatges de la història han consumit en grans quantitats i elogiat desmesuradament (*Berdi, 2007*).

Els àrabs van ser els primers a descobrir les virtuts i les possibilitats econòmiques del cafè, desenvolupar tot el procés de cultiu i el processament del cafè i el van guardar com a un secret. Els àrabs també van tractar d'evitar l'extradició de qualsevol llavor de cafè, com succeïa amb el te o el cuc de seda a Xina.

El primer cultiu sistemàtic de cafè va començar als jardins en forma de terrassa del Iemen, i amb l'ajuda del pelegrinatge islàmic a la Meca i Medina, l'ús del cafè es va estendre al Pròxim Orient. Més tard el cultiu va arribar fins Aràbia i Egipte, on el costum de prendre cafè (o "Kahweh") aviat es va convertir en un hàbit diari. També és molt antiga, el consum de convidar els amics visitants a sembrar una planta de cafè, com a símbol de bona voluntat i afecte. S'explica que, al voltant de l'any 1000, Avicenna utilitzava el cafè com una medicina. Posteriorment, en la història trobem als etiòps consumint com a estimulants i dissipadors de la son. L'utilitzen en moltes ocasions, com per exemple, en les llargues cerimònies religioses. Molts anys després, els turcs van agafar el consum de beure, però torrant primer la llavor després la molien i la remullaven per fer una beguda que van anomenar Kahave.

Un dels escrits més antics que fa referència al cafè és l'anomenat "The Success of Coffee" (L'èxit del cafè), escrit a principis del segle XV per un autor originari de la Mecca, anomenat Abu-Bek, i va ser traduït al Francès l'any 1699 per Antoine de Gaillard (*mundodelcafe.com*)

El cafè es va començar a conèixer a Europa a partir de principis del segle XVII, i la seva popularitat va créixer amb gran rapidesa. Els establiments de cafè es van

multiplicar per tot arreu, sobretot a Itàlia, Gran Bretanya, Holanda, França i Alemanya. Al començament del segle XVIII, els holandesos van estendre el cultiu del cafè fins a Indonèsia, els francesos van portar algunes plantes a Martinica, mentre que els espanyols, per la seva banda, van començar a introduir plantacions al Carib, Amèrica Central i Brasil (*Santos, 2010*).

1.2 La planta del cafè

El cafè és una beguda que s'obté de les llavors torrades i moltes de les plantes del cafè o cafet. La planta del cafè constitueix la primera fase, d'una "llarga cadena de qualitat", per l'obtenció d'un cafè en tassa, ja que influeix en les característiques organolèptiques d'aquest. El cafè verd -la llavor- és un sistema complex on s'hi identifiquen centenars de substàncies químiques diferents, però el sistema adquireix una major complexitat després del procés de torrat, on es produeixen varies reaccions que alteren considerablement la composició original del gra de cafè d'una manera que encara no ha estat clarament identificada. Aquesta complexitat implica que els paràmetres del gra de cafè que afecten a la qualitat d'un cafè en tassa provenen directament de l'origen del gra o de la planta.



Figura 1. Planta del cafè o cafet

(www.berdi.es)

Els cafets són arbusts generalment de les regions tropicals del gènere *coffea* de la família de les Rubiàcies, la qual comprèn al voltant de 500 gèneres i més de 6000 espècies (Doyle et al., 2001; Clarke i Macrae, 1985).

La planta del cafè té flors blanques i oloroses, de fulles persistents de color verd fosc, que produeixen fruits de la mida d'una cirera.



Figura 2. Plantacions de cafè en producció
(www.illy.com)

El fruit és la drupa, la part utilitzada de la planta del cafè, generalment te forma ovalada o el·lipsoïdal, lleugerament aplanada. Un cop el fruit ha madurat, en el seu interior s'hi troben, normalment, dues llavors, les quals estan recobertes per diverses capes.

La primera capa que recobreix el gra s'anomena pell de plata, és una membrana prima de color blanquinosa adherida al gra. A sobre d'aquesta, s'hi troba una capa anomenada pergamí o endocarpi. És un teixit dur que recobreix la llavor individualment. El pergamí és envoltat per una capa gelatinosa, de 0,5-2 mm de gruix, rica en sucres i aigua, anomenada mucíl·lag o mesocarpi. Seguidament, es troba una capa anomenada polpa, la qual està unida a la pell del fruit. El fruit, inicialment és de color verd, després es torna groc i un cop ha madurat es torna vermell, encara que en algunes varietats maduren en color groc.



Figura 3. Fruit i grans del cafè (www.infusionistas.com)

El cafè és la segona mercaderia més comercialitzada en el món, després del petroli, de manera que, en molts casos l'exportació de cafè constitueix part important dels ingressos del país i la seva producció un gran generador d'ocupació. S'estima que 125 milions de persones viuen del cultiu del cafè, incloent 25 milions de petits productors. Cada any es beuen 400.000 milions de tasses de cafè. Per tant, hi ha molts interessos econòmics i socials en joc (*Denoed, 2014*).

1.2.1 Classificació i Origen

Existeixen al voltant de 70 espècies de *Coffea*, de les quals només dues són de gran importància econòmica, la *coffea aràbica* i la *coffea robusta* (*Canephora*), que representen dos terços i un terç de la producció mundial, respectivament.

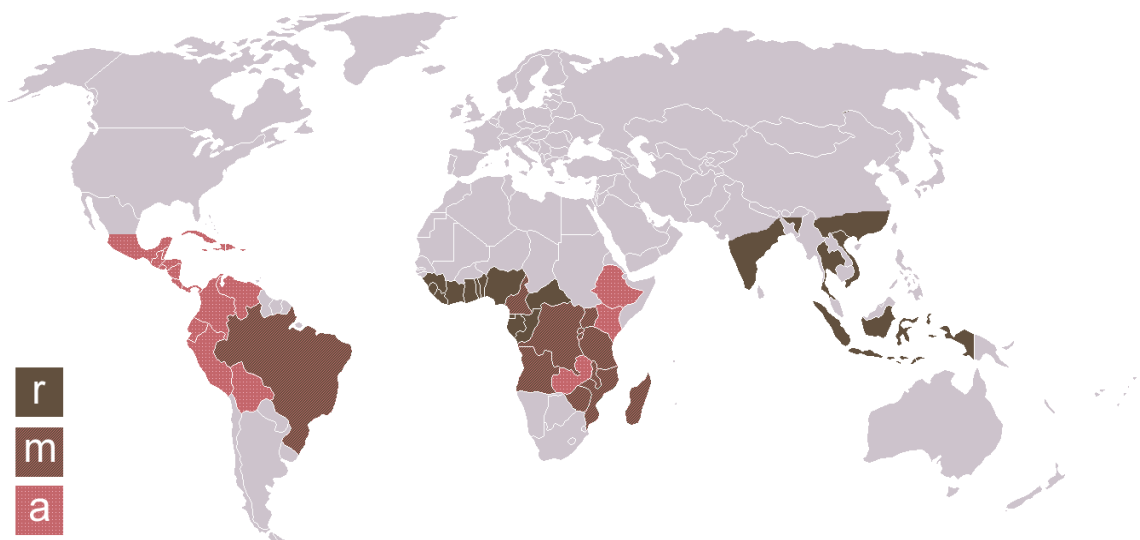


Figura 4. Àrees de la producció de cafè
(www.berdi.es)

r: producció Robusta

m: producció Aràbica i Robusta

a: producció Aràbica

El cultiu es desenvolupa en països tropicals i subtropicals, majoritàriament en països en vies de desenvolupament o subdesenvolupament.

El cafè Aràbica és originari d'Etiòpia. Actualment els tres principals productors d'aquest tipus de cafè són: Brasil, que concentra el 45% de la producció mundial, Colòmbia, amb el 10% i Etiòpia, amb un 7%.

El cafè Robusta és originari del Zaire. Vietnam és el principal productor d'aquest tipus de cafè, que concentra el 39% de la producció mundial, seguit de Brasil, el qual aporta el 28% i Indonèsia, amb un 13% (www.usda.gov).

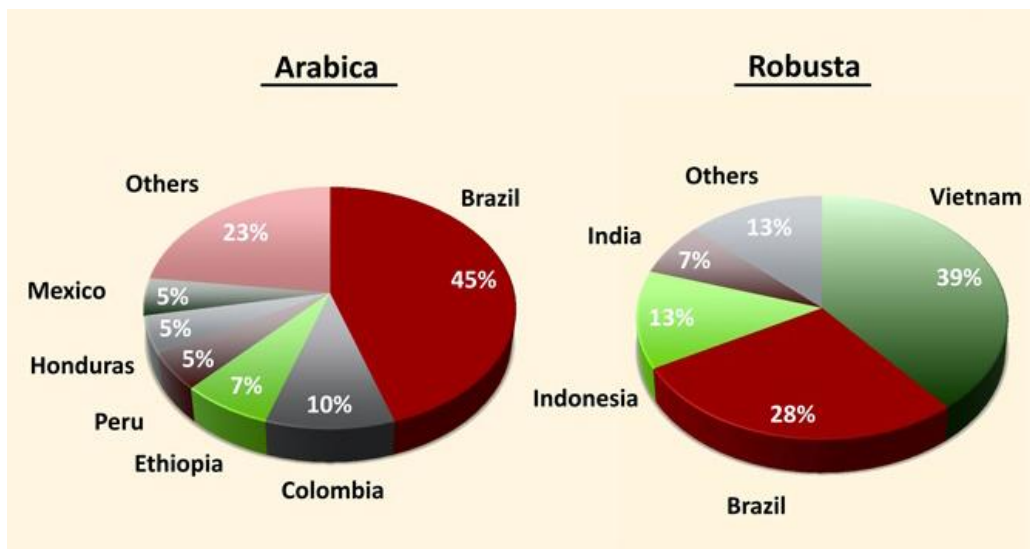


Figura 5. Principals països productors de C.Aràbica i C.Robusta
(www.usda.gov)

1.2.2 Caracterització de les espècies Aràbica i Robusta

El cafè Aràbica i el cafè Robusta són dues espècies que presenten grans diferències entre elles, tant en aspectes botànics, com agronòmics, morfològics o químics.

El cafè Aràbica (*Coffea aràbica*), es cultiva principalment en zones altes de 800-2000 metres, i humides, entre els 15-24°C. Les plantes joves poden començar a tenir floració entre els 12-15 mesos i produir la seva primera collita 2 anys i mig després de la seva plantació. Els fruits tarden entre 7-9 mesos a arribar al seu estat òptim de maduresa.

La planta del cafè és un arbust que pot arribar a tenir una alçada de 2,5 - 4,5 metres pel cafè Aràbica i de 4,5 - 6,5 metres pel cafè Robusta, depenent de la varietat i de les condicions de creixement.

El cafè Robusta (*Coffea canephora*), es cultiva principalment en zones baixes de 100 a 700 metres, i seques, entre els 24-30°C, per que el seu fruit maduri poden tardar entre 9-11 mesos després de la floració. En general és una espècie molt resistent a malalties, plagues i condicions climatològiques adverses, a diferència del cafè Aràbica.

Les dues espècies de cafè comprenen un gran nombre de varietats, les quals es diferencien per créixer en diferents sòls, diferents altituds o diferents climes. Les dues principals varietats del cafè Aràbica són, la typica i la bourbon. Aparentment, les 40-50 espècies de cafè Aràbica que han estat identificades són derivades d'aquestes dues varietats (*Wrigley, 1988*). El cafè Robusta també comprèn un gran nombre de varietats, com són: Java, Conillón, Kouillou, Niaul, etc...

Entre les varietats del cafè Aràbica, la morfologia més comú és una llavor convexa amb una línia longitudinal en forma de S en el tall central, situat a la part plana del gra. Les llavors del cafè Robusta són més arrodonides amb un tall central recte.



Figura 6. Gra de cafè verd Aràbica (esquerra) i Robusta (dreta)

(Illy i Viani, 1995)

El cafè Aràbica, és l'espècie més valorada en el món. Dóna un cafè en tassa de major qualitat, que es caracteritza per aportar aromes florals, gustos dolços, com a xocolata i aportar un bon equilibri d'amargor i acidesa. Té un baix contingut de cafeïna de 0,3-1,2% i la seva crema és de color avellana tirant a vermellós.



Figura 7. Cafè Aràbica (esquerra) i Robusta (dreta)

(www.lagourmandise.org)

El cafè Robusta, aporta unes característiques diferents del cafè Aràbica, tals com un gust fort, amargant i astringent. És molt poc aromàtic, té una alta concentració de cafeïna entre el 2-4%, genera més crema que el cafè Aràbica i el seu color és més fosc. El cafè robusta generalment es ven a preus entre un 20-25% inferiors al cafè Aràbica.

Per tal d'obtenir un bon cafè en tassa, tant el cafè Aràbica com el Robusta ha de passar per una sèrie d'etapes.

1.3 Obtenció del gra de cafè verd

Cada zona de producció, amb la seva altitud, la temperatura, el sol i el seu mètode de cultiu dóna lloc a un cafè únic i diferenciable dels altres. Existeixen uns factors comuns en l'etapa d'elaboració del cafè que incidiran en la qualitat final d'aquest.

1.3.1 Collita de cafè

Existeixen tres mètodes per realitzar la recol·lecció. El primer mètode consisteix en tenir en compte el moment òptim de maduració del fruit, ja que, igual que tots els arbres fruiters, no tots els fruits maduren al mateix temps. Aquest mètode de recol·lecció es fa fruit a fruit, només recollint els fruits madurs. És una tècnica que requereix molta mà d'obra i obliga a passar durant dies i varies vegades sense interrupció pel mateix arbust, però dóna com a resultat millors grans de cafè. Aquest mètode s'anomena *Picking*.



Figura 8. Recollida dels fruits de cafè madurs
(www.cafeflordeapia.wordpress.com)

El segon mètode pot ser manual o mecanitzat, on els fruits de l'arbust es retiren tots alhora encara que alguns estiguin mes o menys madurs. Aquesta tècnica s'anomena *Stripping*. El tercer mètode consisteix en fer vibrar l'arbre de manera que només cauen els fruits més madurs.

Un cop realitzada la collita, els fruits són sotmesos a un tipus de tractament per l'obtenció del cafè verd. Aquest tractament pot seguir el mètode per via seca o per via humida.

Mètode per via seca

El mètode per via seca, també anomenat mètode natural o no rentat, és el més antic, el més senzill i requereix poca maquinària. Consisteix en assecar el fruit sencer, és a dir, un cop es recullen els fruits del cafè es classifiquen, es separen els fruits immadurs o defectuosos dels que estan madurs, i es netegen per treure la brutícia, la terra, les branques i fulles.

Els fruits madurs s'expandeixen regularment en superfícies d'assecat, on durant unes setmanes, s'assequen lentament fins que s'obté un contingut d'humitat del 12,5%. A vegades, després de que el cafè s'hagi assecat al sol durant uns dies, s'acaben assecant en assecadors mecànics per tal d'accelerar el procés.



Figura 9. Procés d'assecat al sol
(www.kafelauok.com)

Finalment, els grans són alliberats de la pel·lícula exterior, el mesocarpi i el pergamí, manualment o de forma mecànica, utilitzant una despolpadora i una despergaminadora, respectivament. Els residus que s'obtenen es fan servir com a combustible, o també com a aliment pels animals.

El mètode de via seca s'utilitza, aproximadament, pel 90% del cafè Aràbica que es produeix a Brasil, Etiòpia, Haití, Paraguai, i també per alguns Aràbica que es produeixen a la Índia i a l'Equador. Quasi tots els Robusta es beneficien d'aquest mètode.

Tot i que és un procés bastant senzill, el cafè pot afectar negativament al gust en tassa si el secat no es regular i la selecció del fruit no es l'adequada.

Mètode per via humida

El processament humit s'utilitza per fruits recollits mitjançant el mètode *picking* i produeix un cafè classificat com a rentat, amb una qualitat més apreciada i amb una aparença uniforme, sense defectes. D'aquí que el cafè que es beneficia amb aquest mètode es considera en general de major qualitat i els seus preus són més elevats.

L'elaboració en humit requereix l'utilització d'una gran quantitat d'aigua, que juga un paper molt important des del principi. Encara que el cafè s'hagi recol·lectat amb molta cura, entre els fruits madurs es poden trobar alguns que no ho estan o també algunes pedres i terra. Al igual que el mètode per via seca, en general s'ha de fer una separació i neteja dels fruits. En aquest mètode els fruits es submergeixen en aigua de manera que els grans que floten són descartats, ja que es tracta de fruits immadurs o defectuosos.

A través d'aigua el fruit arriba al despulpador, on s'elimina una part de la polpa i part del mucíl·lag per pressió o bé per fricció, a través d'instruments en forma de disc o de tambor. Aquesta operació és la principal diferència entre el mètode de via seca i el de via humida, donat que en el mètode per via humida la polpa del fruit es separa del gra abans de posar-lo a assecar. La despulpació s'haurà de fer el més aviat possible després de la recol·lecció per evitar que el fruit es deteriori, la qual cosa podria afectar a la qualitat del cafè.

Posteriorment, la polpa i el mucíl·lag sobrants s'eliminen a través de la fermentació: els grans es dipositen en tancs especials, on les substàncies mucilaginoses

es descomponen sota la influència d'enzims naturals fins que poden dispersar-se i ser eliminades amb aigua. Aquest procés pot durar entre 6-72 hores.

Quan acaba la fermentació, es renta el cafè a fons amb aigua neta en tancs o en rentadores especials. El cafè rentat en aquesta etapa té un 57% d'humitat, aproximadament. Per fer que disminueixi la humitat fins el 12,5% s'asseca el cafè rentat al sol, o en una assecadora mecànica o combinant els dos mètodes. L'assecat al sol dura entre 8-10 dies, segons la temperatura i la humitat de l'ambient. Finalment, un cop assecat, amb la màquina despergaminadora, s'alliberen els grans trencant el pergamí que els recobreix.

El mètode de via humida s'utilitza en general per tots els cafès Aràbica, a excepció del que es produeix al Brasil i en els països productors d'Aràbica citats anteriorment que utilitzen el mètode de via seca. S'utilitza rarament pels Robusta.

Un cop s'obtenen els grans es realitza un calibratge i, segons el nivell de qualitat desitjat, es separen els que tenen mal color, trencats, deformats o han fermentat malament, així fer una selecció rigorosa o limitada.

Posteriorment, el cafè verd s'emmagatzema en sacs de jute o, només en el cas de grans collites, en caixes de fusta, per tal de que es conservin en bon estat.



Figura 10. Emmagatzematge dels grans de cafè verd en sacs de jute.

(www.tuselltostadores.com)

Finalment els sacs de cafè verd (normalment de 60-70 Kg), són exportats a diferents països d'arreu del món, on es procedeix amb el procés de torrat.

1.4 Procés de torrat del cafè

El torrat és l'etapa més important de totes les esmentades fins ara, ja que durant aquest procés es produeixen canvis físicoquímics que permeten desenvolupar les característiques organolèptiques del gra i gaudir d'un bon cafè en tassa (*Fernández, 2004*).

1.4.1 Fases del procés

El procés de torrat es divideix en tres fases, una fase de deshidratació, una fase de torrat i posteriorment, una fase de refredament.

- **Deshidratació:** Té com a objectiu l'assecat dels grans de cafè per mitjà de l'evaporació de l'aigua, reduint així la humitat relativa. La temperatura del procés s'escau al voltant dels 100°C. El color del gra passa de verd a groguenc a causa de la degradació d'alguns pigments verds.
- **Torrat:** Durant aquest procés la composició química dels grans es modifica dràsticament amb l'alliberament de grans quantitats de CO₂ i la formació de centenars de substàncies que donen al cafè torrat el seu aroma i gust característic. També es produeix un canvi de color del gra passant de marró clar a marró més fosc a una temperatura de 160°C.

Inicialment el procés és exotèrmic i es produeixen reaccions pirolítiques que augmenten la temperatura fins a 190-210°C. En una segona part el procés és endotèrmic i és quan es produeix l'alliberació de compostos volàtils. L'última fase és novament exotèrmica, la qual per obtenir el cafè més fosc s'augmenta una mica més la temperatura, evitant que es produeixi la carbonització, la qual es duu a terme al voltant dels 250°C. Durant aquesta última etapa, es percep la crepitació dels grans de cafè, això és degut a la fractura de les cèl·lules en augmentar la pressió interna, cosa que genera una quantitat d'energia important.

- Refredament: La última fase exotèrmica del torrat s'ha d'aturar amb un refredament brusc dels grans, amb aire o aigua, per tal de fixar els aromes i condensar les substàncies oloroses del cafè. A més, si no es refreden ràpidament es pot produir un excés de torrat, a causa de la baixa conductivitat tèrmica del cafè i provocar que es cremin els grans (Von Gimborn et al., 1987).



Figura 11. Procés de torrat del cafè en gra
(www.honestcooking.es)

Encara que el procés de torrat sembli un procés simple, en realitat cada etapa requereix una precisió i control profunds perquè surti bé.

També existeix un tipus de torrat que consisteix en afegir 15 Kg de sucre per cada 100 Kg de cafè durant el torrat. Un cop arriba a temperatures properes als 200°C, el sucre es caramel·litza i s'adhereix al gra del cafè, de manera que s'obtenen uns grans especialment més brillants. Amb aquest mètode s'obté el cafè torrefacte. Aquest tipus de cafè només es produeix a Espanya, Portugal, Argentina i alguns països del sud-est Asiàtic. Les begudes obtingudes a partir d'aquest cafè tenen un gust més intens (García, & Olmo, 2009).

Un cop finalitzat el procés de torrat, el cafè s'introdueix envasos especials per garantir la conservació de les característiques organolèptiques, les quals es deterioren ràpidament si s'exposen a l'aire.

1.4.2 Paràmetres del procés

En el procés de torrat del cafè el paràmetre més important a tenir en compte és la quantitat de calor transferida als grans, la qual cosa es pot determinar a partir de la temperatura i el temps de torrat. La temperatura durant el procés de torrat no és constant, sinó que varia al llarg del procés i el temps és inversament proporcional a la temperatura.

Temperatura de torrat

La temperatura de torrat depèn del tipus de màquina de torrar, del temps de torrat i de la intensitat de color final desitjat. Normalment la temperatura es troba entre els 220-250°C.

Temps de torrat

El temps de torrat pot oscil·lar entre un màxim de 25 minuts a un mínim de 30 segons, depenent del procés:

Procés lent: El temps pot oscil·lar entre els **15 i 25 minuts**. Aquest sistema és molt apreciat pels torradors artesans on s'obté un gra amb un color fosc i uniforme, amb una òptima presència per ser venut al detall i en gra.

Procés Ràpid: El temps pot ser d'**1 a 3 minuts**. En aquest cas, s'obté un cafè de menys qualitat que amb el procés anterior, s'obtenen menys minva al torrar -es guanyen al voltant d'un 2%- i s'utilitza principalment per torrar cafès de qualitats inferiors, normalment els que després seran venuts mòlts.

És difícil donar pautes generals sobre el procés de torrat ja que no només es pot variar la temperatura i el temps sinó que també intervenen les instal·lacions industrials empleades, les diferents tecnologies utilitzades per cada fabricant, els nivells de producció esperats, és a dir: no és el mateix el sistema emprat per una empresa torradora mitjana, que pot torrar unes hores al dia, que el sistema d'una gran empresa que necessita un funcionament sense interrupció. També intervé el tipus de gra que es vol obtenir i el tipus de consumidor a qui va dirigit el producte.

1.4.3 Canvis físicoquímics del gra durant el procés de torrat

Com ja s'ha dit, el gra de cafè verd és un mal conductor tèrmic, té una estructura cel·lular densa, que es trenca durant el procés de torrat, moment on es produeixen els canvis tant físics com químics del gra. Les transformacions del gra de cafè que es produeixen durant aquest procés han estat àmpliament estudiades (*Maier, 1985; Viani, 1986; Pictet, 1987; Clarke, 1987b*).

Canvis físics que es produeixen durant el procés de torrat en el gra:

- **Pèrdua de pes:** el gra perd al voltant del 15-20% de pes, degut en gran part a l'evaporació de l'aigua acumulada als grans durant els processos posteriors a la recol·lecció i, en menor part, a la piròlisi d'alguns components.
- **Disminució de la densitat:** el gra passa del 550-700 g/l en el gra verd a 300-450 g/l en el gra torrat (*Clarke, 1987b*).
- **Augment de volum:** degut a que la descomposició de carbohidrats produeix la formació de diòxid de carboni, hi ha augment de la pressió interna i les cèl·lules dels grans s'expandeixen.

Per a una pèrdua de pes del 18%, el gra augmenta un 40-60%. En un torrat ràpid a temperatures altes, l'augment de volum és més elevat (*Guyot et al., 1985*).

- **Canvi de color:** Durant el procés de torrat el color del gra de cafè canvia de groc verdós a marró, més o menys intens, segons el grau de torrat.

Canvis químics que es produeixen durant el procés de torrat

Els compostos majoritaris que es troben en el gra, aminoàcids, sucres, triglicèrids, greixos, proteïnes, àcids, polisacàrids, minerals, aigua, etc..., pateixen una gran transformació durant el torrat a causa de les altres temperatures a què és sotmès. Aquest punt és el més interessant des del punt de vista gastronòmic, ja que és aquí on es formen els compostos que generen els aromes i gustos.

Els canvis que es produeixen en la composició química del gra durant aquest procés han estat estudiats per diversos autors (*Clarke & Macrae, 1985, Illy and Viani, 1988a, 1993*).

Canvis químics més importants que pateix el gra:

- **Disminució d'àcid clorogènic:** De tots els àcids que conté el cafè verd, l'àcid acètic, críic, màlic, fòrmic, quínic, etc... el que més es veu afectat pel procés de torrat és l'àcid clorogènic. La degradació de l'àcid clorogènic és proporcional al grau de torrat; per un cafè amb un torrat molt intens, es pot perdre fins al 80% (*Illy i Viani, 1995*).
- **Aparició de compostos volàtils:** Els més de 700 compostos volàtils que han estat identificats en l'aroma del cafè (*Clarke, 1986; van Straaten et al., 1986*), la majoria d'ells són, furans, pirazines, fenols, hidrocarburs, pirròls, i cetones, es produeixen només durant el procés de torrat.
- **Degradació de proteïnes:** La degradació i disminució del contingut de proteïnes en el gra de cafè torrat depèn del grau de torrat. Per graus de torrat mitjà la degradació és del 20-40% i per graus intensos és fins el 50%. Els aminoàcids reaccionen i generen compostos relacionats amb l'aroma del cafè (*Macrae, 1985; Illy i Viani, 1995*).
- **Contingut de cafeïna:** El contingut de cafeïna es veu afectat pel grau de torrat, com més intens és el grau de torrat, menor contingut de cafeïna.
- **Lípids:** La major part dels lípids continguts en el gra del cafè no es degraden durant el torrat, encara que alguns àcids grassos s'incrementen, els lípids insaponificables disminueixen i alguns lípids s'oxiden i formen aldehids i altres compostos volàtils.

1.4.4 Tipus de torrat

Existeixen principalment quatre graus de torrat, lleuger, mitjà, complet o fosc. El torrat lleuger o canella produeix uns grans de cafè amb una tonalitat no massa forta, del qual s'obtindrà un cafè en tassa amb molta acidesa, un alt contingut de cafeïna i un cos lleuger (*Odello, 2001*).

El torrat mitjà o Americà, ja que és el més comú dels Estats units, conté un alt contingut de cafeïna i els grans tenen un color marró xocolata, que permeten obtenir una beguda amb un cos i aroma complets i un gust amb un punt acaramel·lat.



Figura 12. Diferents tipus torrat del cafè

(www.cocina33.com)

Un torrat complet o Vienès, s'obtenen uns grans més foscos que donen un cafè en tassa amb gustos forts, amargs i un cos elevat.

Pels torrats foscos, durant el procés de torrat es produeix una emigració de lípids cap a la superfície del gra, donant-li un aspecte brillant. (Illy i Viani,1995)

Entre els cafès de torrat fosc es poden destacar dos tipus de torrat: El torrat francès i el torrat italià.

El torrat francès, també anomenat doble torrat, genera grans de cafè de color marró fosc, amb una textura oliosa, generant cafès en tassa amb gustos amargs i tons acaramel·lats, un baix contingut d'acidesa i molt de cos. El torrat italià, també anomenat espresso, utilitzat en cafès especialment d'alta qualitat, té un color molt fosc, quasi negre, i s'obté un cafè en tassa amb gustos més agredolços, cremats i menys àcids.

En el següent gràfic es pot observar com evoluciona l'acidesa i l'amargor en el cafè en tassa, segons el grau de torra del cafè en gra.

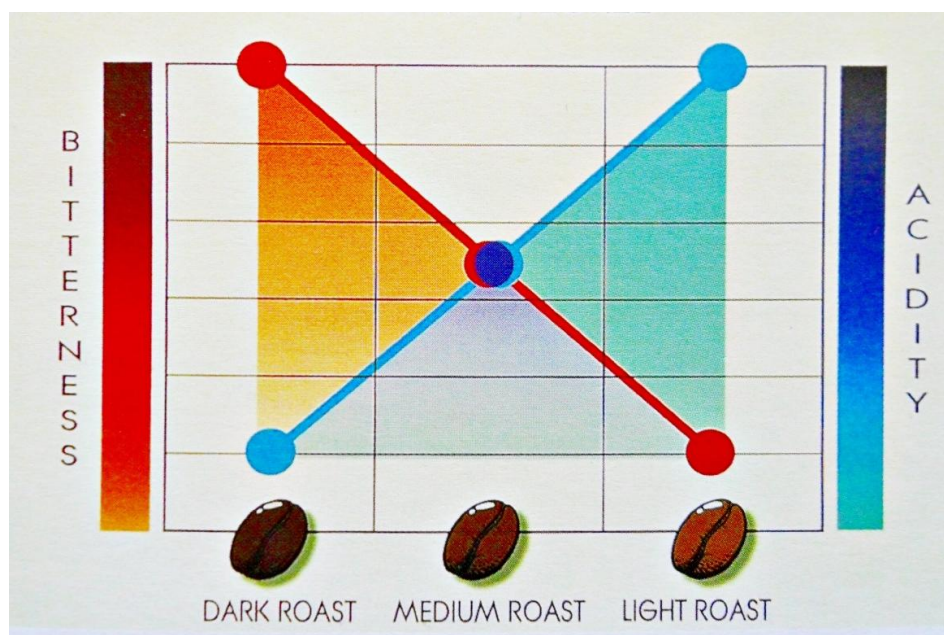


Figura 13. Relació entre amargor/acidesa del cafè en tassa en funció del grau de torrat (Illy i Viani, 1995).

1.5 Molta del cafè

Finalment el cafè torrat passa per un procés de molta, amb l'objectiu d'augmentar la superfície de contacte entre les partícules sòlides de cafè i l'aigua i així, facilitar la transferència de les substàncies solubles a la barreja i alliberar al màxim els aromes i gustos del cafè (*Varnam i Sutherland, 1997*).

La mida de les partícules mòltes, la granulometria, és específica per cada tipus de cafè, de manera que s'han de realitzar varies proves per determinar quin és el grau de mòlta més adequat per cada cafè i d'aquesta manera aconseguir bon cafè en tassa.



Figura 14. Molinet utilitzat per moldre el cafè torrat

Durant la mòlta del cafè torrat, per a l'obtenció d'un cafè espresso, s'ha observat que, normalment, s'obté una granulometria bimodal és a dir, existeixen dos tamanyes de partícules. Les partícules amb un tamany més gran permeten el flux correcte de l'aigua a través del tortó i reté les partícules de diàmetre inferior, les quals són les que faciliten l'extracció de grans quantitats de substàncies solubles (*Andueza, et al., 2003*).

1.6 Cafè espresso

El consum de cafè és molt variable i depèn en gran mesura de la forma com es consumeix i de la seva qualitat. El cafè espresso és una de les millors formes de consumir-lo.

L'origen de l'espresso és italià, on es va popularitzar a mitjans del segle XX. Es caracteritza per la seva ràpida preparació i per tenir un gust més concentrat. És una beguda preparada a través d'una màquina amb una pressió i una temperatura determinada, on l'aigua calenta passa a través de les partícules de cafè torrat i mòlt, durant un període temps molt curt, donant com a resultat final una emulsió denominada crema i una solució aquosa de sucres, àcids, proteïnes i sòlids.

Segons Illy i Viani (1995), l'obtenció d'un espresso de qualitat s'ha de fer controlant els paràmetres dins del rang:

- Grams de cafè mòlts per un espresso $15 \pm 0,5 \text{ g}$
- Pressió de l'aigua d'entrada $9 \pm 2 \text{ bar}$
- Temps de percolació $25 \pm 5 \text{ segons}$
- Temperatura de l'aigua $90 \pm 5^\circ\text{C}$

El cafè espresso és el mètode més apropiat per extreure substàncies aromàtiques que provoquen diferents tipus de sensacions, sobretot organolèptiques, de manera que la preparació d'un bon cafè espresso ha estat estudiada per diversos autors. A més dels paràmetres esmentats anteriorment, també es coneixen varis factors que afecten a la preparació d'un bon espresso, com són: El grau de mòlta, la temperatura d'extracció, la neteja de la màquina, la qualitat de l'aigua i el punt de torrat (*Illy i Viani, 1995*).

Grau de mòlta, el temps d'extracció és el principal indicador per la determinació d'una correcta granulometria; Aquest ha de ser de **$25 \pm 5 \text{ segons}$** per un volum de **$25 \pm 5 \text{ mL}$** d'aigua i per **$15 \pm 0,5 \text{ grams}$** de cafè molturat, en cas de que no sigui així, es produeixen dos casos d'extracció de baixa qualitat:

- *Sobre-extracció*: Quan el temps d'extracció és superior als **30 segons** per un volum de **25 ± 5 mL** d'aigua i **15 ± 0,5 g** de cafè molturat. L'aigua passa lentament per les partícules de cafè molt degut a que el grau de molta és massa fi. Aquest fet dóna com a resultat un cafè cremat, sense crema i amb un gust molt astringent.

- *Sub-extracció*: Quan el temps d'extracció resulta menor als **20 segons** per un volum de **25 ± 5 mL** d'aigua i **15 ± 0,5 g** de cafè molturat. En aquest cas, l'aigua passa més ràpid per les partícules de cafè molt degut a que el grau de molta és massa gruixut. Com a conseqüència s'obté un cafè pàl·lid, excessivament amarg i astringent, amb poca crema i poc cos.

Temperatura de l'aigua d'extracció, és una de les variables més importants que afecten a l'extracció dels compostos relacionats tant amb el gust com amb l'aroma del cafè espresso. La temperatura òptima d'extracció és de $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Per tant, si l'aigua es troba per sota dels 85°C , la temperatura de l'aigua no està suficient calenta com per extreure tots els compostos del cafè que formen la beguda.

Per altre banda, si la temperatura de l'aigua supera els 95°C , s'aconsegueix una major extracció de compostos, dels quals molts d'ells són indesitjables ja que poden donar gustos desagradables i cremar els compostos més delicats del cafè donant com a resultat espressos poc aromàtics, pobres, planers i més amargs.

Qualitat de l'aigua, el cafè espresso és una beguda formada per un 90% d'aigua, per tant, la seva qualitat ha d'afectar críticament al gust de l'espresso.

Segons Pangborn (1971) l'aigua és un ingredient essencial per la preparació i la qualitat de l'espresso. A través dels seus assajos amb begudes de cafè preparats amb diferents qualitats d'aigües potables, va concloure, que el contingut de carbonats d'algunes d'elles portaven conseqüències poc agradables a la beguda, donant com a resultat begudes insípides i amargues. Però al utilitzar aigua destil·lada obtenia begudes excessivament àcides i astringents. De manera que alguns minerals són indispensables per l'obtenció d'un espresso de gran qualitat.

Neteja de la màquina. S'ha de mantenir neta la màquina de cafè per evitar que partícules de brutícia afectin a la tassa i eliminar qualsevol possibilitat de proliferació de microorganismes. Per altra banda, les qualitats organolèptiques del cafè en tassa poden ser influenciades negativament tant per falta d'higiene com per una neteja excessiva. La màquina s'ha de netejar amb aigua tèbia, evitant l'ús de detergents, ja que poden quedar impregnats a les peces metàl·liques i donar com a resultat una tassa amb gustos indesitjables.

Durant la neteja, un aspecte important a controlar és l'eliminació del contingut de calç que s'hagi pogut formar com a conseqüència de l'ús d'aigües dures. Es recomana eliminar la calç regularment per tal d'evitar d'anys a la màquina. Per fer-ho, es fa passar un líquid descalcificant a través del circuit hidràulic de la màquina, durant uns minuts. Posteriorment s'ha de realitzar un rentat a fons.

Grau de torrat. Per un mateix cafè, a cada grau de torrat li correspon un gust i aroma diferents. L'elecció del grau de torrat, més o menys intens, depèn de varis factors, sobretot del tipus de consumidor al que anirà destinat el producte ja que, per exemple, als països nòrdics agrada més un cafè amb un torrat lleuger o mitjà, i d'altres com als mediterranis prefereixen un cafè de torrat intens.

1.7 Màquina de cafè RANCILIO CLASSE 9

Rancilio és un fabricant de marques de cafès espresso, fundada al 1927 per Robert Rancilio a Parabiago, Milà, Itàlia. Rancilio s'ha convertit en el fabricant més conegut en les seves xarxes de distribució, per l'ús efectiu del disseny industrial i per la seva fiabilitat.

Per aquest estudi s'utilitzarà la versió més avançada de la màquina de cafè expresso Classe 9 de Rancilio, amb una tecnologia USB que porta incorporada una electrònica avançada i una pantalla alfanumèrica per controlar la màquina.

La principal opció de configuració de la màquina és el subministrament d'aigua calenta amb control de temps de dosificació i la principal característica és la possibilitat de variar la temperatura de l'aigua d'extracció. Aquest fet fa possible variar les propietats del cafè (*Rancilio, 2013*).



Figura 15. Màquina XCelsius classe 9 de la marca RANCILIO
(*Rancilio, 2013*)

1.8 Antecedents

Fins ara, únicament existien al mercat màquines de cafè que treballaven a una temperatura d'extracció fixa de $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$, que pot ser variable, però fixa durant l'extracció.

L'any 2003 es va presentar un estudi que detallava com afecta la temperatura d'extracció en la qualitat final d'un espresso. Es van escollir diferents temperatures d'extracció fixes (88, 92, 96, 98°C) i diferents tipus de cafè i es va concloure que la temperatura òptima d'extracció per a totes les qualitats del cafè d'origen era de 92°C (Andueza, et al., 2003).

Recentment s'han començat a desenvolupar màquines de cafè, que permeten variar la temperatura de l'aigua durant el procés d'extracció, o el que s'anomena extracció amb corbes o rampes de temperatura. Les primeres màquines de cafè comercialitzades amb aquestes característiques són les de la gamma XCelsius de la marca Rancilio.

A la Universitat de Girona, durant els darrers anys s'ha realitzar un estudi per determinar com afecten les rampes de temperatura d'extracció, a les propietats físicoquímiques i organolèptiques del cafè espresso, utilitzant diferents cafès en gra d'origen. En aquest treball s'ha demostrat que variant la temperatura durant l'extracció, permet modificar les propietats físicoquímiques del cafè en tassa i que l'ús de corbes de temperatura permetria modular, exaltar o rebaixar els descriptors organolèptics d'un espresso (Salamanca, 2014).

Per altra banda, com ja s'ha esmentat anteriorment, també el grau de torrat, afecta a les propietats físicoquímiques i organolèptiques dels espresso.

Illy i Viani, 1995, van realitzar diversos estudis per determinar com es veuen afectades algunes de les propietats del gra en funció del grau de torrat, però utilitzant sempre una temperatura d'extracció fixa.

L'any 1997 es va presentar un estudi que detallava com es veu afectada la composició química d'un cafè espresso segons el grau de torrat. Es va escollir un tipus de cafè en gra i es va torrar a diferents graus. Posteriorment van fer el mateix amb un altre tipus de cafè en gra utilitzant els mateixos graus de torrat, sempre treballant amb una temperatura d'extracció fixa. Es va concloure que a mesura que augmentava el grau de torrat, augmentava el pH i els sòlids totals i disminuïa el contingut de greixos (*Nunes, 1997*).

L'any 2011 es va presentar un estudi que detallava com es varia el contingut de polifenols i cafeïna depenent del grau de torrat. Per fer-ho es van utilitzar dos cafès en gra diferents i cadascun d'ells es va torrar a diferents graus de torrat, utilitzant una temperatura d'extracció fixa. Es va concloure que per graus de torrat lleugers el contingut de cafeïna i de polifenols totals era més elevat que en el cas de treballar amb graus de torrat intensos (*Hečimović, et al., 2011*).

Per tant, fins ara no es coneix com afecta la variació de la temperatura durant el procés d'extracció, segons el grau de torrat d'un mateix cafè en gra, a les propietats físicoquímiques i organolèptiques en un cafè espresso.

1.9 Objectius

L'objectiu del treball és determinar l'efecte que causa la variació de la temperatura d'extracció i el grau de torrat d'un mateix tipus de cafè en gra en les propietats físicoquímiques d'un cafè espresso.

S'intentarà relacionar les propietats físicoquímiques amb les organolèptiques per tal d'establir relacions entre els paràmetres analítics i els descriptors del cafè en tassa.

1.10 Especificacions i abast

En aquest treball es vol analitzar tres graus de torrat diferents, un torrat lleuger (4/10), un torrat mitjà (7/10) i un torrat intens (9/10), d'un cafè 100% aràbica bourbon.

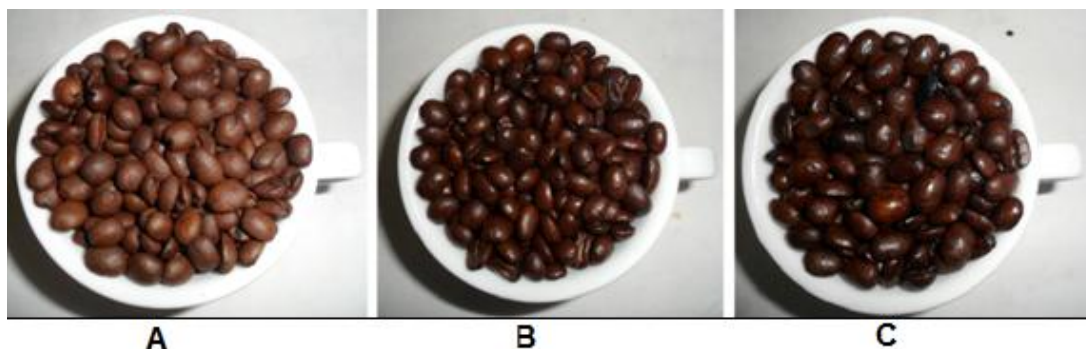


Figura 16. Graus de torrat: A. Torrat lleuger B. Torrat mitjà C. Torrat intens

Per cada grau de torrat, es realitzarà el treball a diferents temperatures d'extracció: una rampa de temperatura creixent 88-93°C, una temperatura fixa de 90°C i una rampa de temperatura decreixent de 93-88°C. De manera que es determinarà com afecten aquest dos paràmetres, el grau de torrat i la temperatura d'extracció, en les propietats físicoquímiques del cafè espresso.

Per cada temperatura d'extracció i grau de torrat s'analitzen algunes les propietats físicoquímiques més importants d'un cafè espresso, com són: la persistència i la consistència de la crema, l'índex de crema, el volum de cafè, els sòlids totals i filtrats, el color, el pH, l'àcid clorogènic, el contingut de lípids, contingut de cafeïna i els polifenols.

Per altre banda, durant els últims anys, s'ha intentat establir una relació entre les propietats físicoquímiques i les propietats organolèptiques de les beguda. Amb aquestes relacions, els paràmetres esmentats anteriorment es relacionaran amb els descriptors sensorials del cafè.

Paràmetres físics estudiats i la relació amb les propietats sensorials del cafè

Persistència i consistència de la crema. L'atribut organolèptic més important i peculiar que pot ser percebut immediatament després de la preparació del cafè espresso és la presència de crema. La crema indica si l'espresso ha estat ben preparat o no. Si no es forma crema, indica que el cafè es troba ranci o que s'ha fet malbé, o que el pas de l'aigua pel cafè ha estat massa ràpid, o que l'aigua no estava suficient calenta. Un bon cafè espresso tindrà una bona persistència i consistència.

La persistència de la crema es defineix com el temps (en minuts) que tarda la crema en obrir-se i mostrar la solució aquosa de cafè per sota.

La consistència es defineix com el temps (en segons) que tarda el sucre en enfonsar-se un cop l'hem abocat sobre la crema (*Illy i Viani, 1995*).

L'índex de crema es defineix com a una relació entre el volum de la crema i el volum total. Es considera que un bon espresso, ha de tenir un índex superior al 10% (*Illy i Viani, 1995*), tot i que un índex superior al 30% es considera un valor negatiu.

Volum de cafè, és un dels paràmetres més importants ja que per preparar un bon cafè espresso és necessari que amb un temps d'extracció de 25 ± 5 segons, s'obtingui un volum de 25 ± 5 ml de cafè per tassa. Per aconseguir aquest fet, s'haurà de regular el grau de molta i utilitzar 15 ± 0.5 g de cafè molturat.

Sòlids totals. El contingut de sòlids totals, és la característica més important en la composició química de l'espresso. El contingut de sòlids totals no només depèn fortament del grau de torrat, sinó també de la temperatura d'extracció: nivells de torrat més foscos provoquen una major extracció de matèria soluble, i temperatures més altes d'extracció extreuen de manera més eficient. El sòlids totals fa referència a tota la matèria en suspensió, lípids emulsionat, substàncies solubles, com els sucres, polifenols, etc... de manera que els sòlids totals es relacionen amb el cos del cafè en tassa (*Illy i Viani, 1995*).

Sòlids filtrats, són un conjunt de partícules de cafè que no es dissolen en la solució de cafè espresso. Els sòlids totals es relacionen amb el cos del cafè i especialment amb el pòsit residual que queda en la tassa (*Illy i Viani, 1995*).

Color, és l'indicador més important a tenir en compte per saber el grau de torrat del gra de cafè. La uniformitat del color després del torrat, és un atribut d'un cafè de bona qualitat (*Aguilar, 1995; Gretsche i col., 1999; Severini i col., 1991; Mwithiga i col., 2003*).

Paràmetres químics estudiats i la relació amb les propietats sensorials del cafè

El pH del cafè, és un valor que generalment es troba entre els 5.2-5.8 essent un valor més alt quan més alt és el grau de torrat (*Dalla Rosa et al., 1986a; 1986b*), tot i que per cafès Aràbica rentat, quan el grau de torrat és intens, el pH es troba entre 4.9-5.4, i en el cas d'utilitzar torrats més lleugers, el valor del pH és més baix.

L'acidesa de les begudes de cafè és un paràmetre organolèptic important, però l'acidesa que s'obté en un espresso no és el valor de pH que s'obté analíticament, sinó que hi han molts factors que poden accentuar o atenuar la sensació d'acidesa (*Illy i Viani, 1995*).

L'àcid clorogènic, és un dels principals compostos polifenòlics que caracteritzen el cafè i com tots aquests compostos, té una activitat antioxidant. El seu contingut ha estat relacionat amb el gust amarg (*Gloess et al., 2014; Campa et al., 2005*).

El contingut de lípids. Els lípids són substàncies energètiques i protectores de les cèl·lules, són insolubles en aigua i comprèn els lípids saponificables, àcids grassos saturats i insaturats, i els insaponificables. Els lípids reaccionen de diferents maneres, per exemple, s'oxiden en condicions d'oxigen, llum, altes temperatures i presència de metalls catalitzadors, així, es trenquen els enllaços insaturats, es formen radicals lliures i es produeixen aldehids, cetones i alcohols que, en general, tenen olors desagradables, com el ranci. Per controlar l'oxidació dels lípids del cafè és necessari emmagatzemar els grans en condicions fresques i seques, sense llum directa, i en el cas del cafè torrat i molt, controlar l'exposició a l'oxigen. Els lípids també s'han relacionat amb la textura i el cos del cafè (*Puerta Q., 2011*).

Contingut de cafeïna. La cafeïna és un alcaloide de la família metilxantina. Va ser descoberta el 1820 pel químic alemany Ferdinand Runge mitjançant anàlisis de cafè. La cafeïna, teïna o guaranina és un compost químic que es troba en la naturalesa de les llavors de cafè, de cacau, la cola, en les fulles del te i en la guaranà. És coneguda com a estimulants del sistema nerviós central i la quantitat de cafeïna que es troba soluble en la beguda és responsable d'un 10% de l'amargor del cafè en tassa.

Contingut de polifenols. Els polifenols s'han determinat a causa de les conegudes propietats antioxidants que tenen aquest compostos i que consideren beneficiosos per a les persones. Els polifenols són substàncies que es troben en els vegetals i són els principals responsables del color quan es fan infusions o altres extraccions dels vegetals amb líquids. Un dels principals components dels polifenols són els tanins, que són molècules orgàniques que tenen major intensitat de color. Per aquest motiu el contingut total de polifenols pot estar directament relacionat amb el color del cafè (Maier, 1993).

D'altra banda, els polifenols són molècules que poden aportar gran varietat de gustos a les infusions, contribuint sobretot a l'astringència de la beguda (Illy i Viani, 1995; Odello, 2001).

2. Part experimental

Per a cada paràmetre estudiat en aquest treball, es realitzen 16 extraccions i 16 anàlisis per tal d'obtenir un elevat nombre de valors i poder fer un tractament estadístic.

De cada extracció s'obtenen dos espresso, els quals en la majoria d'anàlisis, es barregen entre elles per tenir una mostra més homogènia.

2.1 Preparació de les mostres de cafè espresso

Per preparar dos cafès espresso es pesen $15 \pm 0,5$ grams de cafè mòlt, en un vas de 100 mL, prèviament pesat i tarat. Tot seguit s'afegeix la meitat del cafè pesat al porta filtres i es premia lleugerament amb la premadora (MACAP CPS/Z), sense arribar a la màxima pressió. Posteriorment s'aboca la resta de cafè i es premia fins al màxim de pressió de manera que el cafè quedi ben homogeneïtzat.

Un cop tenim el cafè ben premat, es col·loca el porta filtres en el capçal de la cafetera i es procedeix a l'extracció automàtica, extraient en aproximadament 25 segons, un volum aproximat de 25 mL per a cada espresso.



Figura 17. Procés d'extracció del cafè espresso

2.2 Tècniques analítiques

2.2.1 Determinació de l'índex de crema

Material

- Vasos de precipitats de 50 mL amb escala mil·limètrica

Procediment

Per la determinació de l'índex de crema del cafè es realitza l'extracció i es recullen els dos espressos, cada un en un vas de precipitats de 50 mL els quals contenen una escala mil·limètrica. Immediatament després de l'extracció es mesuren els mil·límetres que hi ha de crema i de solució de cafè en cada espresso.

2.2.2 Determinació de la persistència

Material

- Vasos de precipitats de 50 mL
- Sonda de temperatura
- Cronòmetre

Procediment

La persistència de la crema és un valor que indica la durada de la capa de crema sobre el cafè. Una crema és persistent si dura el temps suficient fins que es veu la beguda. Els experts consideren que el cafè ja no s'hauria de consumir quan es refreda fins a una temperatura de 45°C, temperatura a la qual l'espresso ja no conserva totes les seves característiques organolèptiques. Per tant, es va establir que una crema és persistent quan aquesta cobreix la superfície del cafè fins que aquest es refreda a 45°C. Per tant, amb una sonda de temperatura, es mesura el temps que tarda el cafè en arribar als 45°C. Es va comprovar que a la temperatura mitjana del laboratori, el temps que tarda un espresso en refredar-se era inferior a 8 minuts.

Per determinar la persistència de la crema, es realitza l'extracció del cafè i es recullen els dos espressos en dos vasos de precipitats de 50 mL. Un cop finalitzada l'extracció, es posa el cronòmetre en marxa i s'observa si abans dels 8 minuts s'ha format un forat al centre de la crema. Si arribats als 8 min no hi apareix el forat, es considera que la crema de l'espresso és persistent.

2.2.3 Determinació la consistència

Material

- Vasos de precipitats de 100 mL
- Malla metàl·lica de 4 cm de diàmetre i 0.63 grams de pes.
- Cronòmetre

Procediment

Per determinar la consistència de la crema, l'extracció es realitza en dos vasos de precipitats de 100 mL. Un cop s'ha fet l'extracció, la solució es deixa en repòs uns segons fins que es forma clarament la capa de crema. En aquell mateix instant, molt delicadament es posa una malla, sobre la crema i es posa en marxa el cronòmetre i es determina el temps que tarda la malla en enfonsar-se en la crema.

2.2.4 Determinació del volum total

Material

- Vasos de precipitats de 50 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D. Model MM90E. Una sola plataforma de 9 posicions. Rang de velocitat 200-1200 rpm. Plat de 110 mm de diàmetre.
- Provetes de 50 mL

Procediment

Per determinar el volum total, els dos cafès que surten d'una mateixa extracció es recullen en dos vasos de precipitats de 50 mL i es col·loquen a l'agitador magnètic

per refredar-los fins a temperatura ambient i mantenir-los homogenis. Un cop s'han refredat, cada un s'aboca en una proveta de 50 mL i es sumen els dos volums per tal de determinar el volum total de l'extracció.

2.2.5 Determinació del pH

Material

- Vasos de precipitats de 100 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D. Model MM90E.
- Equip de mesura de pH. Crison 220

Procediment

Els dos cafès obtinguts en la mateixa extracció, s'aboquen en un mateix vas de precipitats de 100 mL i es posa a l'agitador magnètic per refredar-lo i mantenir-lo homogeni. Un cop s'ha refredat es mesura el pH amb l'aparell pH-metre calibrat.



Figura 18. Aparell pH-metre Crison 220

2.2.6 Determinació dels sòlids filtrats

Material

- Vasos de precipitats de 100 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D. Model MM90E.
- Filtres de microfibra de vidre de gruix 0,7 micròmetres i 70 mm Ø
- Estufa 250°C/DH 250
- Dessecador de vidre
- Balança analítica AND HM 200
- Vidres de rellotge de 80 mm Ø
- Pipeta automàtica de 10 mL
- Equip de filtració al buit

Procediment

Els dos cafès obtinguts en la mateixa extracció, s'aboquen en un mateix vas de precipitats de 100 mL i es posa a l'agitador magnètic per refredar-lo i mantenir-lo homogeni.

Per altra banda, es posen a assecar filtres de microfibra de vidre de gruix 0,7 micròmetres i 70 mm de diàmetre a l'estufa (90-100°C) per extreure la humitat del filtre. Un cop transcorreguts 20 minuts es col·loquen al dessecador per refredar fins a temperatura ambient. Posteriorment es pesen amb la balança analítica i s'anota el pes del filtre. Cada filtre es col·loca en un vidre de rellotge de 80 mm de diàmetre prèviament posat a l'estufa durant 20 minuts i al dessecador.

Un cop el cafè es troba a temperatura ambient, amb el muntatge de filtració al buit es filtren 10 mL de mostra de cafè. Es recull el filtre, es col·loca en el vidre de rellotge i es deixa a l'estufa durant 24 hores.

Després de 24h es treuen els filtres de l'estufa i es posen en el dessecador, per tal de que es refredin fins a temperatura ambient i d'evitar que agafin humitat. Un cop refredats, es pesen de nou amb els sòlids filtrats.

La diferència entre el pes del filtre amb els sòlids i el pes inicial del filtre, permet determinar la quantitat de sòlids filtrats de cada mostra amb la següent conversió:

$$\frac{\text{g de sòlids filtrats}}{10 \text{ mL de mostra cafè}} \cdot \frac{1000 \text{ mL mostra cafè}}{1 \text{ L mostra cafè}} = \frac{\text{g de sòlids filtrats}}{\text{L de mostra cafè}}$$

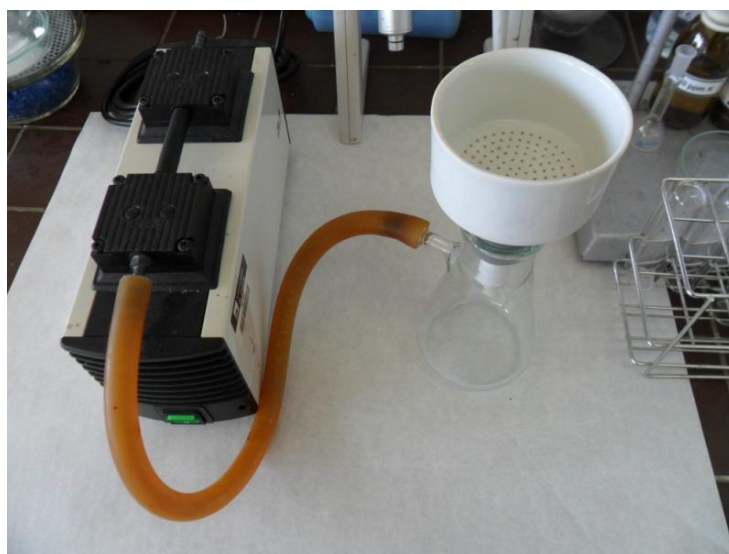


Figura 19. Equip de filtració al buit

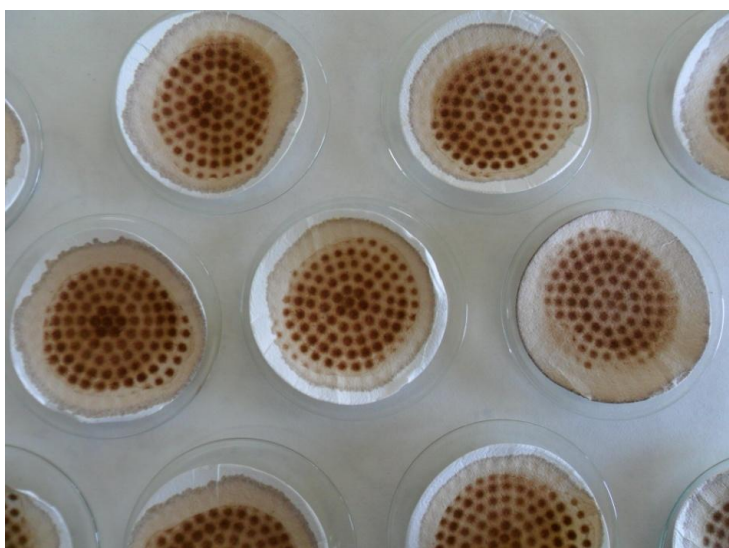


Figura 20. Sòlids filtrats

2.2.7 Determinació dels sòlids totals

Material

- Vasos de precipitats de 100 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D. Model MM90E.
- Vasos de precipitats de 50 mL
- Pipeta automàtica de 10 mL
- Estufa 250°C/DH 250
- Dessecador de vidre
- Balança analítica

Procediment

Els dos cafès de la mateixa extracció s'aboquen en un mateix vas de precipitats de 100 mL i es posen en l'agitador magnètic per refredar i homogeneïtzar.

Per altra banda, es posa un vas de precipitats de 50 mL a l'estufa, per treure la humitat, durant 20 minuts. Posteriorment es posa en el dessecador fins que es refreda. Un cop refredat fins a temperatura ambient, es pesa en una balança analítica.

Posteriorment, s'introdueixen 10 mL de la mostra de cafè en el vas de 50 mL amb l'ajuda d'una pipeta automàtica de 10 mL i es col·loca a l'estufa durant 24 hores.

Després de 24 hores es treu de l'estufa i es posa en el dessecador fins arribar a temperatura ambient. Finalment, es pesa el vas amb els sòlids.

La diferència entre el pes del vas de precipitats amb el sòlid sec i el vas de precipitats inicial, permet calcular els sòlids obtinguts.

$$\frac{\text{g de sòlids obtinguts}}{10 \text{ mL de mostra cafè}} \cdot \frac{1000 \text{ mL mostra}}{1 \text{ L mostra}} = \frac{\text{g de sòlids obtinguts}}{\text{L de mostra cafè}}$$

2.2.8 Determinació del color de les mostres de cafè espresso

Material

- Mesurador de color Lovibond
- Cubetes

Procediment

El color del cafè es mesura utilitzant un colorímetre Lovibond per determinar les coordenades CIE L^* , a^* i b^* . Es determina la diferència total de color de les diferents mostres amb l'equació (McLaren, 1980):

$$\Delta E = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{0.5}$$

On:

ΔE = Diferència total del color entre la mostra i el patró.

El valor de ΔE ha de ser inferior a 10, ja que per valors superiors, el colorímetre Lovibond no capta la diferència total entre el color del patró i la mostra.

ΔL^* = Diferència en el valor de claredat/fosc. Per valors positius vol dir que el color de la mostra és més clar que el patró i per valors negatius, el color de la mostra és més fosc.

Δa^* = Diferència entre el vermell i verd. Per valors positius la mostra és més vermella i per valors negatius, la mostra és més verda.

Δb^* = Diferència entre el groc i blau. Per valors positius la mostra és més groga i per valors negatius és més blava.

Per tal d'observar les diferències de color entre les mostres, segons el grau de torrat i la temperatura d'extracció, necessitem escollir un color com a patró. Per fer-ho s'utilitza el Pantone.

En aquest cas es va escollir com a patró el color "Black 4 2X" ja que, després de diverses proves, aquest entrava dins el límit d' ΔE pels tres tipus de grau de torrat.

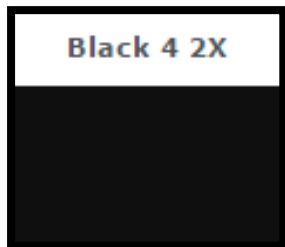


Figura 21. Patró de color

Característiques del Black 4 2X	
Il·luminació D65 10º	
L*	7.6
a*	1.1
b*	1.1

Figura 22. Característiques del patró.

Posteriorment es realitza una extracció de cafè i s'afegeix part de l'espresso obtingut en una cubeta, que es col·loca en el suport del colorímetre i es procedeix a mesurar la diferència de color.



Figura 23. Mesurador de color Lovibond i el Pantone.

2.2.9 Determinació del contingut de cafeïna

Material

- HPLC Konik 550A
- Vasos de precipitats de 100 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D. Model MM90E.
- Pipeta automàtica d' 1000 µL
- Matrassos aforats de 100 mL
- Xeringues de plàstic d' 1mL
- Tubs d'assaig de 10 mL
- Filtres de xeringa Micropur, RC, 0.45 µm de 25 mm.

Reactius

- Metanol qualitat HPLC
- Aigua Mili-Q
- Reactiu patró cafeïna

Procediment

Primer es prepara la mostra de cafè. S'agafen els dos cafès de la mateixa extracció i s'aboquen en el mateix vas de precipitats de 100 mL. Tot seguit, es col·loca el vas a l'agitador magnètic fins que la mostra es refreda i s'homogeneïtza.

Quan la mostra es trobi a temperatura ambient, amb l'ajuda d'una pipeta automàtica d'1000 µL, s'introdueixen 0,4 mL de mostra de cafè en un matràs aforat i s'enrasen a 100 mL amb aigua Mili-Q. Es tapa el matràs i s'agita fins que quedi una solució homogènia.

Un cop preparada la mostra, s'han de preparar patrons de cafeïna amb l'objectiu d'obtenir una recta de calibratge. De manera que es dilueixen 0,1 grams de cafeïna enrasats a 500 mL amb aigua Mili-Q i a partir d'aquesta dissolució es preparen els patrons de 5, 10, 25, 50 mg/L.

Per la determinar el contingut de cafeïna a la mostra de cafè es realitzarà amb un equip de cromatografia HPLC Konik 550 A, amb una columna Nucleosil 100C18 de 5 μ (100 x 4,6 mm) i un detector a una longitud d'ona a 210 nm. El cabal de treball de la columna és de 0,8 mL/min, amb un volum d'injecció d'1 mL. Es treballa amb una fase mòbil formada per un 40% de metanol i un 60% d'aigua.



Figura 24. Aparell cromatografia d'HPLC Konik 550A

Finalment es procedeix a fer les injeccions. Primer s'injecten els patrons per tal de tenir la recta de calibratge i tot seguit les mostres. Abans de cada injecció s'ha de filtrar la mostra, amb un filtre de Xeringa Micropur, RC, 0.45 μ m de 25 mm, per evitar que es pugui fer malbé la columna.

Una vegada obtingudes les àrees dels patrons, es determina l'equació de la corba de calibratge a partir de les àrees dels cromatogrames dels patrons. Una vegada obtinguda la recta, es calcula la concentració de cafeïna a la mostra a partir de l'equació:

$$I = m \cdot x + b$$

On:

l: Àrea

m: Pendent de la corba de calibratge

x: Concentració de cafeïna de les mostres injectades

b: Ordenada a l'origen de la corba de calibratge

Un cop obtinguda la concentració de cafeïna de la mostra, s'ha de tenir en compte el factor de dilució alhora de fer els càlculs.

$$\frac{\text{mg de cafeïna}}{\text{L mostra}} \cdot \frac{100 \text{ mL d'aigua Mili} - Q}{0,4 \text{ mL mostra}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = \frac{\text{g cafeïna}}{\text{L mostra}}$$

2.2.10 Determinació de lípids

Material

- Vasos de precipitats de 100 mL
- Multiagitador magnètic digital MultiMix D.
- Pipeta automàtica de 10 mL
- Embuts de decantació de 250 mL
- Balons de 100 mL
- Estufa 250°C/DH 250
- Dessecador de vidre
- Balança analítica AND HM 200
- Equip de destil·lació
- Campana extractora de gasos
- Paper de filtre
- Erlenmeyer de 100 mL
- Manta elèctrica

Reactius

- Hexà, n-hexano, Scharlau 99%
- Aigua Mili-Q
- Sulfat de sodi anhidre

Procediment

Per la determinació del contingut de lípids, cal realitzar una extracció líquid-líquid utilitzant hexà com a dissolvent orgànic. Primer s'afegeixen els dos espressos de l'extracció en un mateix vas de precipitats de 100 mL i es posa a l'agitador magnètic fins que la mostra arribi a temperatura ambient.

Seguidament, s'afegeixen 50 mL de mostra de cafè i 20 mL d'hexà en un embut de decantació amb l'ajuda d'una pipeta automàtica. Es tapa l'embut, es barreja durant

uns segons, es destapa i es deixa reposar 15 minuts en un suport en posició vertical, fins que es vegi clarament la separació de dues fases.

Posteriorment s'extreuen les dues fases per separat. En un vas de precipitats de 100 mL es recull la fase aquosa (el cafè), que es troba a la part inferior de l'embut i la fase orgànica (l'hexà), que es troba a la part superior, s'introdueix en un segon embut de decantació. La part aquosa es torna a introduir dins el primer embut de decantació i es repeteix el procediment 3 vegades per a cada mostra.

Un cop realitzades les 3 extraccions, en el segon embut de decantació s'obté un volum total de 60 mL d'hexà els quals es renten amb 60 mL d'aigua Mili-Q, per tal d'eliminar partícules de cafè que hagin pogut quedar retingudes a la fase orgànica, i es barreja la mescla. Posteriorment es col·loca l'embut al suport i es deixa reposar fins que les dues fases quedin completament separades. Seguidament s'obre la clau de pas per extreure la fase aquosa (aigua), que es troba a la part inferior de l'embut, vigilant de no perdre fase orgànica. El rentat amb aigua es repeteix 5 vegades.

Després de realitzar els 5 rentats amb aigua, s'han d'extreure les possibles restes d'aigua que hagin quedat a la fase orgànica. Per fer-ho s'afegeix sulfat de sodi anhidre al decantador fins que hagi absorbit tota l'aigua continguda. Quan el sulfat de sodi hagi retingut tota l'aigua, les restes d'aquest quedaran soltes dins el decantador.

Posteriorment, es filtra l'hexà amb un paper de filtre per retenir el sòlid de sulfat de sodi i s'introdueix en un baló de destil·lació de 100 mL prèviament assecat i pesat.

Un cop el líquid es troba dins del baló es procedeix a l'evaporació de l'hexà amb un equip de destil·lació amb recuperació de vapor. L'hexà es recull en un Erlenmeyer de 100 mL, per poder-lo reciclar. Quan s'hagi evaporat l'hexà, es col·loca el baló a l'estufa a 105°C durant 24 hores. Finalment, es pesa el baló i es calcula la quantitat de lípids extrets.

Amb la diferència de pes, del baló amb el contingut de lípids i del baló buit pesat inicialment, i tenint en compte el volum inicial de mostra de cafè que s'ha afegit a l'embut de decantació, es calcula la concentració de lípids en una mostra de cafè:

$$\frac{\text{g lípids obtinguts}}{50 \text{ mL de mostra de cafè}} \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \frac{\text{g de lípids obtinguts}}{\text{L mostra de cafè}}$$

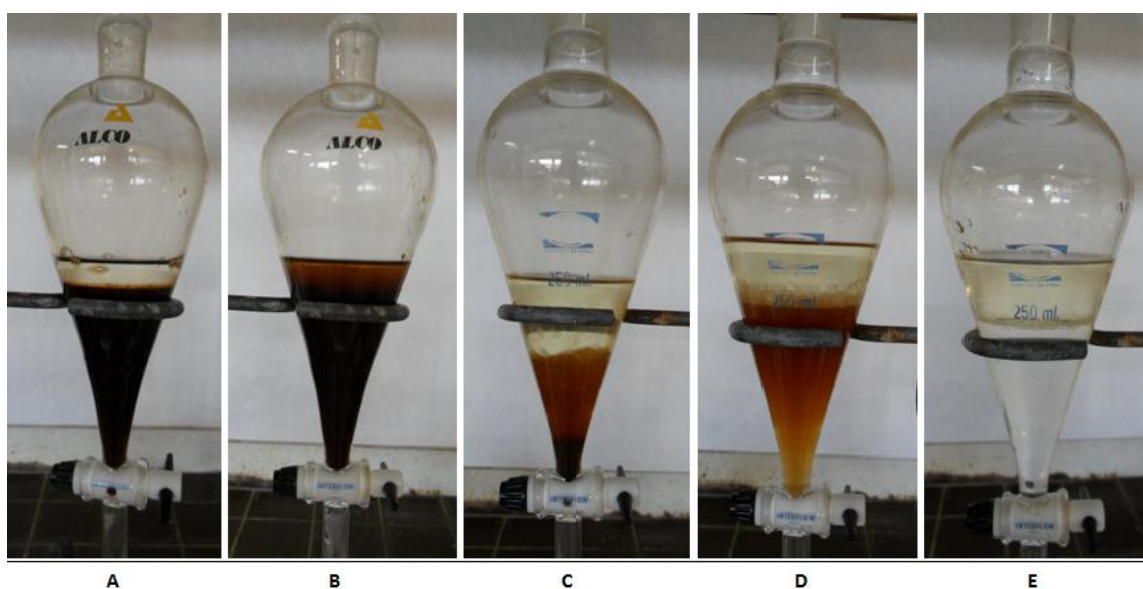


Figura 25. Procés d'extracció líquid-líquid. **A.** Contingut de cafè i d'hexà abans de barrejar. **B.** Un cop s'han barrejat es deixa reposar fins que les dues fases tornen a quedar clarament diferenciades. **C.** La fase d'hexà s'introdueix en un altre embut on apareix una capa d'escuma. **D.** Primer rentat de la fase orgànica amb aigua. **E.** Últim rentat de la fase orgànica amb aigua.

2.2.11 Determinació dels polifenols

Material

- Equip Gilson 223 Sample Changer
- Tubs d'assaig de 10 ml
- Pipeta automàtica de 1
- Espectrofotòmetre Cecil CE2021

Reactius

- Reactiu Folin-Ciocalteu (Scharlau)
- Carbonat de sodi
- Àcid gàl·lic (Acros)
- Aigua Mili-Q

Procediment

Per la determinació de polifenols totals presents en el cafè s'utilitza la tècnica analítica Espectrofotometria UV-VIS. Mitjançant l'equip Gilson 223 Sample Changer (dilutoautomàtic), amb adició del reactiu Folin-Ciocalteu.

S'introdueix 1mL de mostra de cafè en un tub d'assaig. Amb l'equip "Gilson 223 Sample Changer", es dilueix la mostra 12.5 vegades i s'addiciona 600 µL d'una solució al 10% d' Na_2CO_3 , s'addiciona el reactiu de Folin-Ciocalteu, i finalment s'enrasa a un volum final de 6 mL amb aigua Mili-Q per a que es produeixi la reacció colorimètrica. Seguidament es deixa reposar 2 hores i es mesura l'absorbància amb l'aparell Espectrofotòmetre d'absorció molecular ultraviolat visible a la longitud d'ona de 760 nm.

Es necessari realitzar una recta de calibratge. Per tant, es preparen patrons de 200, 400, 600, 800, 1000 mg/L d'àcid gàl·lic a partir d'un patró inicial de 1000 mg/L (el contingut de polifenols s'expressa com àcid gàl·lic).

Per determinar la concentració de polifenols totals continguts a la mostra, es mesura l'absorbància dels patrons, per obtenir la recta de calibratge, i posteriorment es

mesura l'absorbància de les mostres amb l'aparell Espectrofotòmetre d'absorció molecular ultraviolat visible a la longitud d'ona de 760 nm.



Figura 26. Equip Gilson 223 Sample Changer



Figura 27. Espectrofotòmetre Cecil CE2021

2.2.12 Determinació de l'àcid clorogènic

Material

- Tubs d'assaig
- Tubs de centrífuga
- Pipeta automàtica de 10 mL
- Centrifugador Hettich Universal 320
- Aparell cromatografia d'HPLC Agilen Series 1200
- Xeringues de plàstic d'1 mL
- Filtres de xeringa de 0,2 µm

Reactius

- Carrez Reagent I; (Solució de 250 mM ferrocianat de potassi tetrahidratat) (Scharlau)
- Carrez Reagent II; Solució 1M acetat de zinc dihidratat que conte 3% d'àcid acètic glacial (V/V) (Scharlau)
- Acetonitril qualitat HPLC (Scharlau)
- Àcid fòrmic qualitat HPLC (Scharlau)
- Aigua Mili-Q
- Reactiu patró 5-clorogènic àcid (Sigma)
- Metanol (Scharlau)

Procediment

Primer es prepara la solució de cafè, els dos espresso que s'obtenen en una extracció s'afegeixen al mateix vas de precipitats de 100 mL i amb un agitador magnètic es barreja la mostra fins que es trobi a temperatura ambient.

Per a la determinació de la cafeïna, un cop tenim la mostra de cafè, cal fer-li un pretractament per tal de separar les proteïnes contingudes en el cafè i que podrien interferir a l'anàlisi amb HPLC.

Primer de tot, s'afegeixen 8 mL de mostra de cafè, 0.2 mL de Carrez Reagent I, 0.2 mL de Carrez Reagent II i 1.6 mL de metanol, en un tub de centrífuga. Un cop s'han addicionat els reactius es col·loca el tub en un equip de centrifugació Hattich Universal 320 a 5000 rpm durant 10 minuts. Posteriorment es treu el tub de la centrifuga, es recull el sobrenedant i es prepara una mostra diluïda al 10% amb aigua Mili-Q.

Un cop preparada la mostra de cafè s'han de preparar patrons d'àcid clorogènic per tal d'obtenir una recta de calibratge. Per tant, es prepara un patró de 0,001 grams d'àcid clorogènic que es dissolen en 10 mL d'aigua Mili-Q i a partir d'aquesta dissolució es preparen patrons de 1, 10, 25, 50 i 100 mg/L.

Per determinar el contingut d'àcid clorogènic en la mostra de cafè es realitzarà amb un equip de cromatografia HPLC Agilen sèrie 1200, amb una columna C-18 de 5 μ (250 mm x 4.6 mm) i un detector de longitud d'ona múltiple. El cabal de treball de la columna és de 0.8 mL/min, i la detecció a 210 nm, amb un volum d'injecció de 20 μ L. Es treballa amb un gradient de fases mòbils format per dues solucions diferents: fase mòbil A: aigua (amb un 0,1% d'àcid fòrmic) i fase mòbil B: acetonitril (amb un 0,1% d'àcid fòrmic).



Figura 28. Cromatògraf HPLC Agilen sèrie 1200

Finalment es filtra la mostra diluïda amb un filtre de 0,2 µm abans d'injectar al cromatògraf. Primer es procedeix a analitzar els patrons, per obtenir la recta de calibratge, i seguidament les mostres.

Un cop obtinguda la concentració d'àcid clorogènic a la mostra, s'ha de tenir en compte el factor de dilució alhora de fer els càlculs.

$$\frac{\text{mg àc. clorogènic}}{\text{L mostra}} \cdot \frac{10 \text{ mL d'aigua Mili} - Q}{1 \text{ mL mostra}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = \frac{\text{g àc. clorogènic}}{\text{L mostra}}$$

3. Resultats

3.1 Resultats del volum total de les mostres de cafè espresso

A la taula 1 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del volum total de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de grau de torrat, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 1. Resultats del volum total de cafè en les mostres d'espresso, per les diferents temperatures d'extracció i els tres graus de torrat. A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.

Volum total de cafè (mL)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	52,97 ± 0,66	54,06 ± 1,03	53,4 ± 0,6
B	53,56 ± 1,06	55,10 ± 1,03	53,5 ± 1,44
C	52,89 ± 1,26	54,88 ± 1,43	53,72 ± 0,25

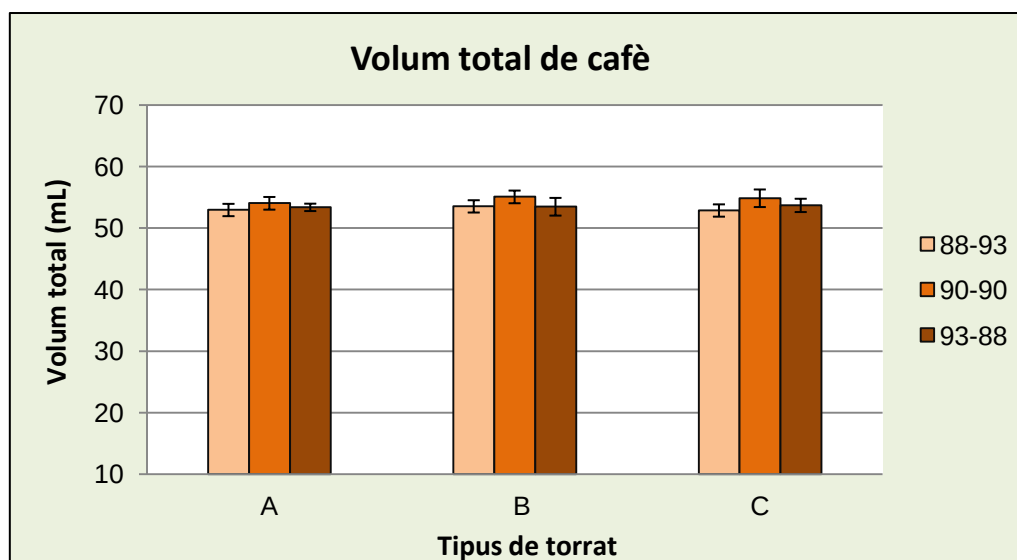


Figura 29. Valors del volum de cafè a les mostres de l'espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

El fet de tenir espressos amb diferents volums, faria que s'obtinguin espressos completament diferents, ja que una variació de volum provocaria variacions dels volums analítics obtinguts. Al haver obtingut cafès en tassa de volums molt similars podem estar segurs que les diferències físicoquímiques que s'observen entre les diferents mostres, els cafès obtinguts a partir de diferents graus de torrat i temperatures d'extracció, són degudes únicament a diferències dels paràmetres físicoquímics, i no a causa de la diferència de volum de les mostres.

3.2 Resultats de l'índex de crema de les mostres de cafè espresso

A la taula 2 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors obtinguts d'índex de crema dels espresso pels tres tipus de grau de torrat, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 2. Valors d'índex de crema del cafè espresso per les diferents temperatures d'extracció i graus de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Índex de crema (%)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	19,42 ± 0,01	18,03 ± 0,01	18,19 ± 0,01
B	24,16 ± 0,02	22,10 ± 0,01	23,87 ± 0,02
C	20,87 ± 0,02	20,25 ± 0,01	20,74 ± 0,02

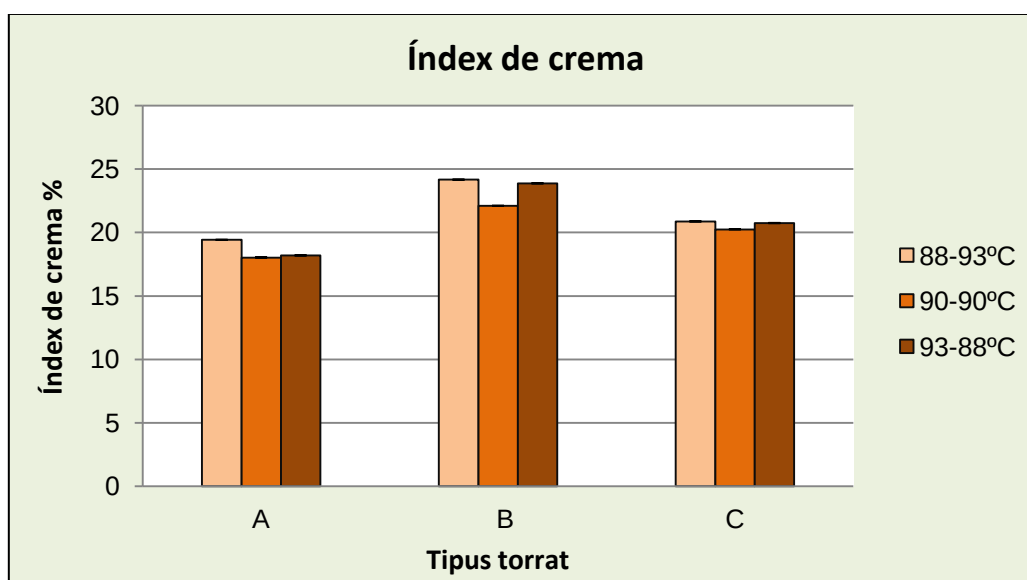


Figura 30. Índex de crema del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Tal com es veure a la figura 30, pel grau de torrat lleuger (A), quan s'utilitza una rampa de temperatura ascendent, s'obté un índex de crema lleugerament més elevat, si es compara amb la temperatura plana i la rampa descendent. En aquest cas, tant per la temperatura plana com per la temperatura descendent s'obtenen valors molt similars.

Pel grau de torrat mitjà (B), utilitzant rampes de temperatura, ja sigui ascendent com descendent, l'índex de crema tendeix a ser més alt, respecte la temperatura plana de 90°C. Amb aquest grau de torrat, s'obtenen valors més elevats d'índex de crema, comparats amb els graus de torrat A i C.

En el cas d'un grau de torrat intens (C), també es pot veure que utilitzant rampes de temperatura els valors tendeixen a ser lleugerament més elevats respecte a la temperatura plana de 90°C.

Com s'ha comentat anteriorment, un bon espresso ha de tenir un índex de crema superior al 10% i inferior al 30% (*Illy i Viani, 1995*). Si observem els resultats, tots els valors d'índex de crema dels espressos, es troben dins d'aquest interval, per qualsevol tipus de torrat i temperatura d'extracció. De manera que aquest paràmetre en cap cas es veu afectat negativament.

3.3 Resultats de la persistència de les mostres de cafè espresso

A la taula 3 es mostra el resultat de la persistència de la crema dels tres graus de torrat, a les diferents temperatures d'extracció. Quan la crema de l'espresso tarda 8 minuts o més en trencar-se, es considera que la crema és persistent i es valora en positiu, ja que passats 8 minuts el cafè es considera fred i per tant no es poden captar tots els aromes i gustos que aporta un bon espresso recent extret. De manera que els espressos on la crema es trenqui abans dels 8 minuts, es valora en negatiu.

Taula 3. Persistència de la crema dels cafès espresso a diferents temperatures pels graus de torrat **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Persistència (minuts)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	+	+	-
B	+	+	+
C	+	+	+

Com es pot observar a la taula 3, per un grau de torrat lleuger (A), el valor de la mitjana dels espressos realitzats amb una temperatura d'extracció descendent de 93-88°C, és negatiu. Pels graus de torrat mitjà i intens, tots els espressos obtenen valors positius, indicant una bona persistència de la crema, en qualsevol temperatura d'extracció.

La persistència de la crema és una característica important per determinar la qualitat d'un espresso. En aquest treball, s'ha vist que treballant amb un grau de torrat lleuger, a una rampa de temperatura descendent, els espressos no tenen persistència, és a dir, la crema es trenca abans de que arribi a refredar-se el cafè.

3.4 Resultats de la consistència de les mostres de cafè espresso

A la Taula 4 es mostra el valor de la mitjana i la desviació estàndard, de la consistència del cafè espresso dels tres tipus de grau de torrat, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 4. Resultats de la consistència del cafè espresso per les diferents temperatures d'extracció i els tres graus de torrat **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Consistència (s)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	6 ± 1	5 ± 1	4 ± 1
B	69 ± 6	102 ± 3	64 ± 7
C	18 ± 3	28 ± 5	9 ± 7

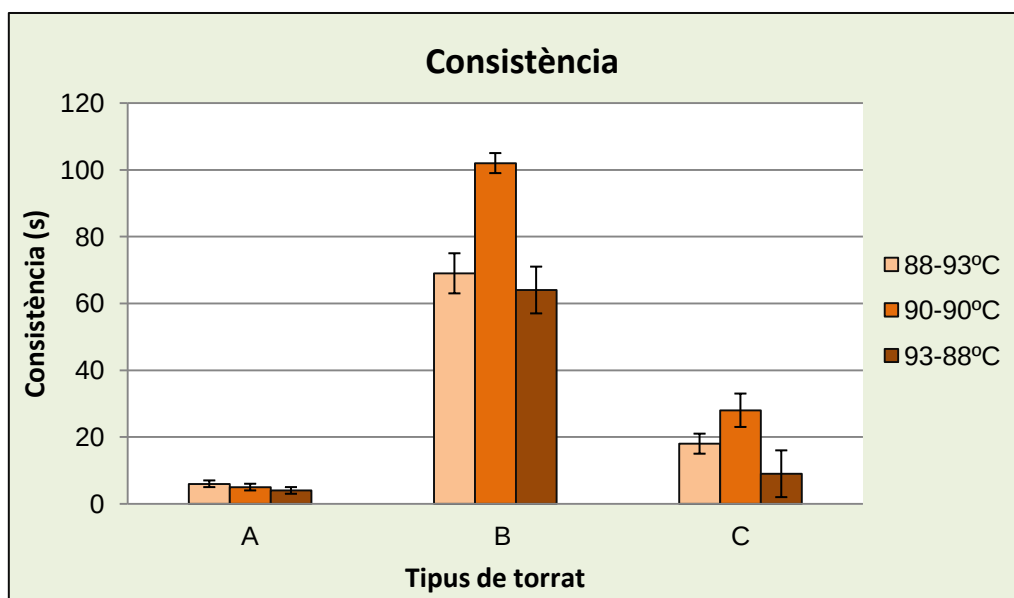


Figura 31. Resultats de la consistència del cafè espresso a diferents temperatures d'extracció pels tres graus de torrat **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Com es pot observar a la figura 31, per un grau de torrat lleuger (A) els valors de consistència són molt baixos, on no es poden apreciar diferències alhora d'utilitzar diferents temperatures d'extracció.

En el cas d'un grau de torrat mitjà (B), els valors de consistència són molt elevats, comparats amb els valors del grau de torrat A i C. Es veu clarament que amb una temperatura plana de 90°C s'obté una major consistència que en el cas d'utilitzar rampes de temperatura, ja sigui tant ascendent com descendent.

Per un grau de torrat intens (C), igual que pel grau de torrat mitjà, es pot observar que amb una temperatura plana de 90°C s'obté una major consistència que en el cas d'utilitzar rampes de temperatura.

La consistència de la crema és la principal característica que ens indica la qualitat visual inicial d'un espresso i es percep immediatament després de la seva preparació. Un bon espresso ha de tenir una crema consistent, que perduri durant un temps i que retengui els aromes continguts en el líquid.

En els resultats, s'observa que amb un grau de torrat mitjà a partir d'una temperatura d'extracció plana de 90°C s'obté una crema molt més consistent.

3.5 Resultats del pH de les mostres de cafè espresso

A la taula 5 es mostra la mitjana i la desviació estàndard dels valors obtinguts pH de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de grau de torrat d'un mateix cafè en gra, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 5. Resultats del pH del cafè espresso per les diferents temperatures d'extracció i els tres graus de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

pH			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93°C	90°C	93-88°C
A	5,15 ± 0,04	5,07 ± 0,03	5,16 ± 0,03
B	5,47 ± 0,04	5,41 ± 0,02	5,50 ± 0,05
C	5,53 ± 0,03	5,47 ± 0,02	5,61 ± 0,03

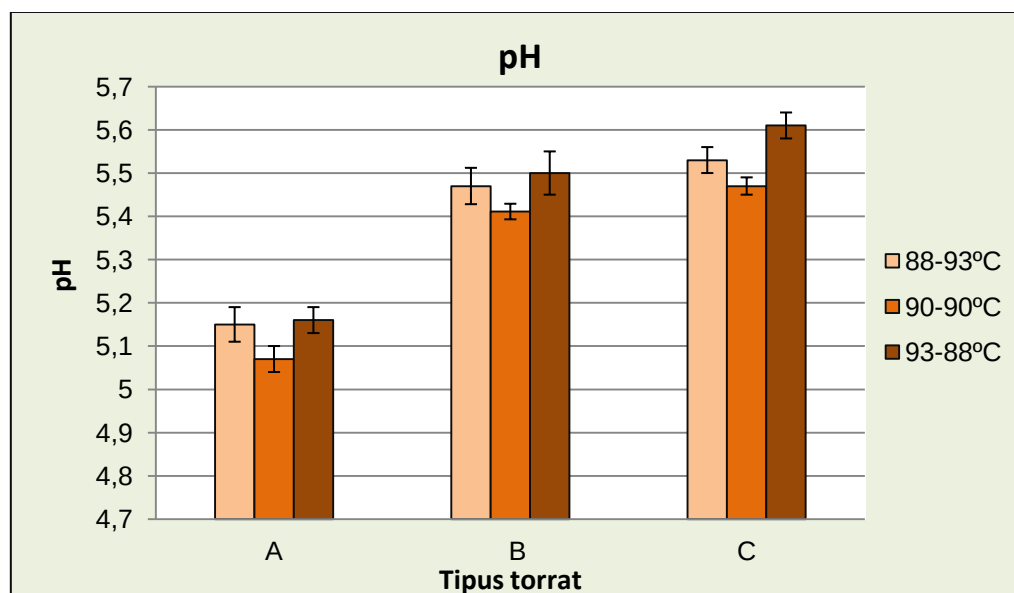


Figura 32. Valors del pH del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

En aquest cas, per qualsevol dels tres graus de torrat (A, B o C) quan s'utilitzen rampes de temperatura ja sigui, ascendent o descendent, s'obtenen valors de pH més elevats, si es compra amb la rampa de temperatura fixa de 90°C.

Es pot observar que per un grau de torrat lleuger (A) els valors del pH són molt baixos i, a mesura que augmenta la intensitat del torrat, els valors de pH van augmentat.

Considerant que el valor de pH pot ser un indicador del gust del cafè, es pot dir que per un grau de torrat lleuger, s'obté un espresso amb un alt contingut d'acidesa i per un grau de torrat intens, s'obté un espresso menys àcid, tot i així, en boca cal tenir en compte altres factors que poden accentuar o atenuar la sensació d'acidesa.

Cal destacar que, utilitzant rampes de temperatura s'obtenen espressos menys àcids que en el cas de treballar amb una temperatura plana de 90°C.

3.6 Resultats del contingut de sòlids filtrats del cafè espresso

A la taula 6 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors dels sòlids filtrats de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de grau de torrat, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 6. Resultats dels sòlids filtrats del cafè espresso per a diferents temperatures d'extracció i per tres graus de torrat diferents. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Sòlids filtrats (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	6,00 ± 0,57	4,96 ± 0,28	5,14 ± 0,16
B	4,90 ± 0,44	4,38 ± 0,31	4,79 ± 0,28
C	4,43 ± 0,18	3,81 ± 0,21	4,07 ± 0,15

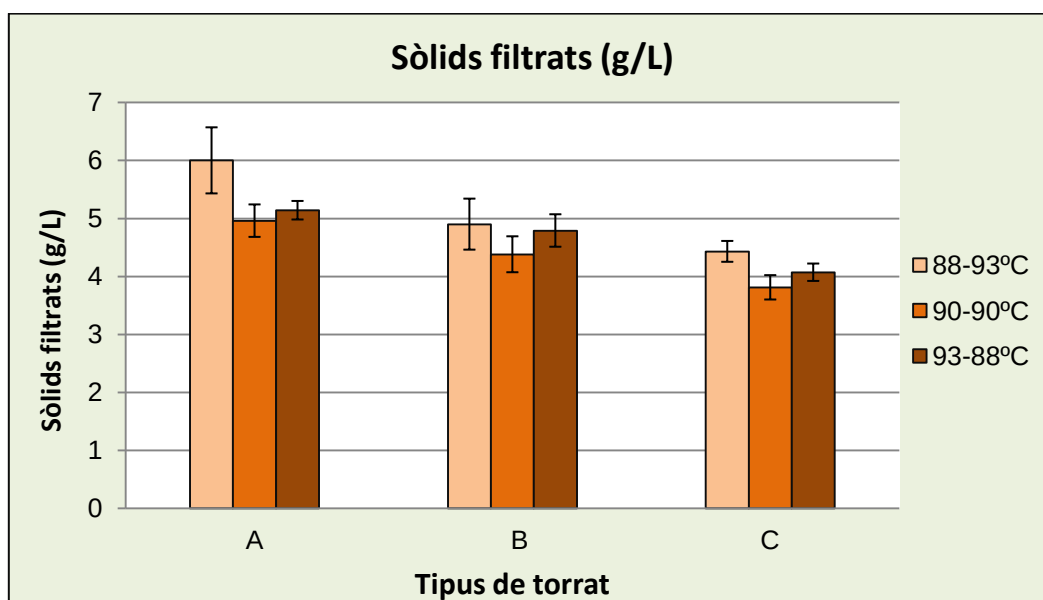


Figura 33. Sòlids filtrats del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Pels sòlids filtrats, es pot observar que, per qualsevol dels tres graus de torrat quan s'utilitzen rampes de temperatura, tant ascendent com descendent, s'obtenen més sòlids filtrats que en el cas de treballar amb una temperatura fixa de 90°C, tot i que, amb la rampa de temperatura ascendent s'obté un major contingut de sòlids filtrats en els tres graus de torrat.

Si observem els tres tipus de grau de torrat, el contingut de sòlids filtrats és més elevat quan es treballa amb un torrat més lleuger (A) i a mesura que el torrat és més intens (B i C), el contingut de sòlids filtrats disminueix.

Com ja s'ha comentat anteriorment, el contingut en sòlids filtrats és un paràmetre que es pot relacionar amb el pòsit del cafè en tassa, i que en la seva abundància es considera un defecte de l'espresso (*Illy i Viani, 1995*).

Després d'observar els resultats, per un grau de torrat lleuger s'obté un espresso amb un alt contingut de pòsit i a mesura que augmenta el grau de torrat, el contingut de pòsit disminueix. També s'ha demostrat que utilitzant rampes de temperatura, s'obtenen espressos amb més de pòsit.

3.7 Resultats del contingut de sòlids totals del cafè espresso

A la taula 7 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del contingut de sòlids totals de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de torrat, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 7. Resultats dels sòlids totals del cafè espresso per les diferents temperatures d'extracció i pels tres graus de torrat diferents. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Sòlids totals (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	61,41 ± 1,20	56,63 ± 0,74	57,63 ± 0,67
B	62,78 ± 1,03	59,11 ± 0,83	59,82 ± 0,79
C	63,43 ± 0,79	59,82 ± 0,66	60,34 ± 1,11

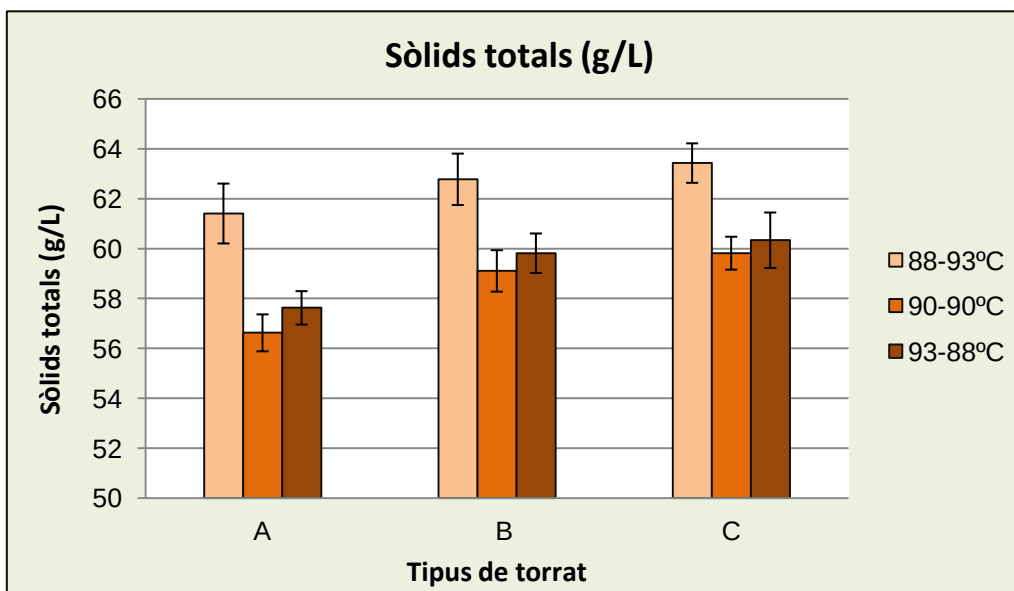


Figura 34. Contingut de sòlids totals del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Si s'observa la figura 34, es pot veure que els tres graus de torrat tenen el mateix comportament respecte les diferents temperatures d'extracció, és a dir, pels tres graus de torrat, quan s'utilitzen rampes de temperatura, tant ascendent com descendent, s'obté major contingut de sòlids totals en comparació a una temperatura plana de 90°C. Però, amb una rampa de temperatura ascendent es produeix un augment de sòlids totals considerable respecte les altres dues extraccions.

Per altra banda, per un grau de torrat intens (C), el contingut de sòlids totals és lleugerament més elevat, i a mesura que disminueix el grau de torrat, el contingut de sòlids totals disminueix, per qualsevol de les temperatures d'extracció.

Com s'ha comentat anteriorment, els sòlids totals, donen una indicació del cos de l'espresso ja que és on es troben totes les substàncies solubles del cafè i s'ha vist que per graus de torrat foscos es produeix més matèria soluble (*Illy i Viani, 1995*). De manera que, observat els resultats del treball, per un grau de torrat lleuger s'extreuen menys substàncies solubles i per tant s'obté un espresso amb menys cos comparat amb el grau de torrat mitjà i intens. Tot i així el fet de treballar amb una rampa de temperatura ascendent, permet una major extracció de substàncies solubles, produint una millora del cos de l'espresso.

3.8 Resultats de la diferència de color en les mostres de cafè espresso

S'ha determinat la diferència de color que hi ha entre el patró i la mostra de cafè per cada un dels graus de torrat utilitzant l'equació 6:

$$\Delta E = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{0.5}$$

ΔE = Diferència de color

$$\Delta L^* = L_{\text{mostra}}^* - L_{\text{patró}}^*$$

$$\Delta a^* = a_{\text{mostra}}^* - a_{\text{patró}}^*$$

$$\Delta b^* = b_{\text{mostra}}^* - b_{\text{patró}}^*$$

A la taula 8, es mostren els valors de la mitjana d' ΔL^* , Δa^* , Δb^* i la mitjana i la desviació estàndard d' ΔE de cada temperatura d'extracció utilitzant un grau de torrat lleuger.

Taula 8. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat **A: torrat lleuger**.

Diferència de color entre el grau de torrat A i el patró				
Temperatures	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
88-93°C	1,42	4,03	4,69	$6,4 \pm 0,8$
90°C	1,35	3,74	4,03	$5,7 \pm 1,1$
93-88°C	-0,26	3,39	3,86	$5,1 \pm 0,42$

A la taula 9, es mostren els valors de la mitjana d' ΔL^* , Δa^* , Δb^* i la mitjana i la desviació estàndard d' ΔE de cada temperatura d'extracció utilitzant un grau de torrat mitjà.

Taula 9. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat **B: torrat mitjà**.

Diferència de color entre el grau de torrat B i el patró				
Temperatures	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
88-93°C	-3,05	-0,61	-1,51	$3,46 \pm 0,24$
90°C	-1,98	1,13	0,87	$2,4 \pm 0,2$
93-88°C	-1,91	0,5	-0,08	$2 \pm 0,25$

A la taula 10, es mostren els valors de la mitjana d' ΔL^* , Δa^* , Δb^* i la mitjana i la desviació estàndard d' ΔE de cada temperatura d'extracció utilitzant un grau de torrat intens.

Taula 10. Resultats de la diferència de color entre la mostra de cafè i el patró a diferents temperatures d'extracció per un grau de torrat **C: torrat intens**.

Diferència de color entre el grau de torrat C i el patró				
Temperatures	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
88-93°C	-2,04	1,19	0,66	$2,5 \pm 0,36$
90°C	-1,6	1,27	1,06	$2,3 \pm 0,09$
93-88°C	-0,71	1,38	-1,43	$2,1 \pm 0,25$

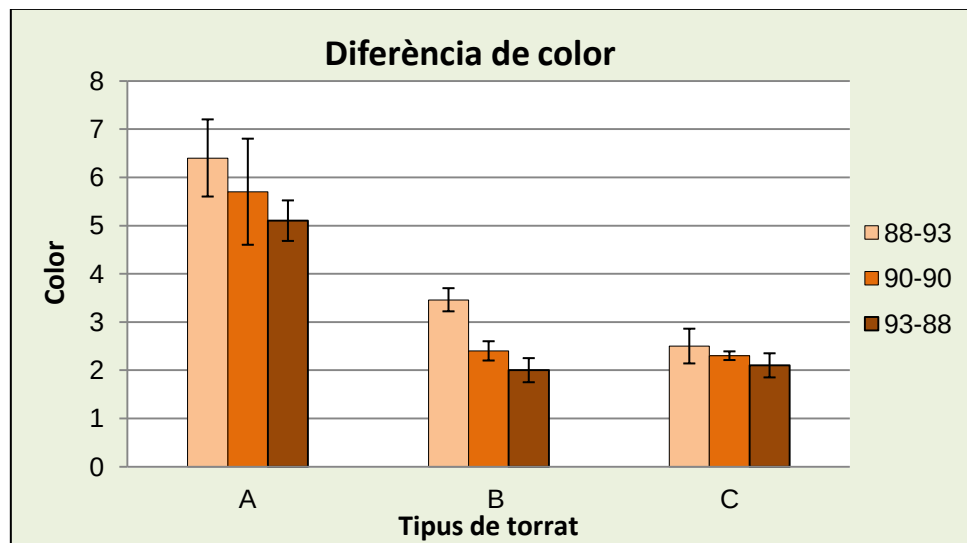


Figura 35. Color de les mostres cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

En general, mirant la figura 35, per qualsevol dels tres graus de torrat, quan es treballa amb una rampa de temperatura ascendent 88-93°C, el valor de l' ΔE és més elevat.

Per un grau de torrat lleuger (A), s'observa com els valors d' ΔE són molt elevats, per qualsevol de les tres temperatures d'extracció, i per torrats més intensos (B i C), els valors d' ΔE disminueixen.

L' ΔE és un valor que dona una valoració de la intensitat de color de l'espresso en tassa.

Com s'ha vist anteriorment per la valoració del color, s'ha escollit un patró pràcticament negre, de manera que per un grau de torrat lleuger, la diferència de color entre el patró i la mostra és molt gran, és a dir, la mostra és molt clara i, a mesura que augmenta el grau de torrat, la diferència de color entre el patró i la mostra és més petita, per tant la mostra cada vegada és més fosca, quasi negra.

3.9 Resultats del contingut de cafeïna en el cafè espresso

A la taula 11 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors del contingut de cafeïna de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de grau de torrat d'un mateix cafè en gra, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 11. Resultats del contingut de cafeïna de les mostres de cafè espresso per a diferents temperatures d'extracció i per tres graus de torrat diferents. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Cafeïna (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	4,12 ± 0,15	4,55 ± 0,12	3,88 ± 0,13
B	3,06 ± 0,29	3,95 ± 0,19	3,71 ± 0,322
C	3,49 ± 0,28	3,81 ± 0,18	2,60 ± 0,26

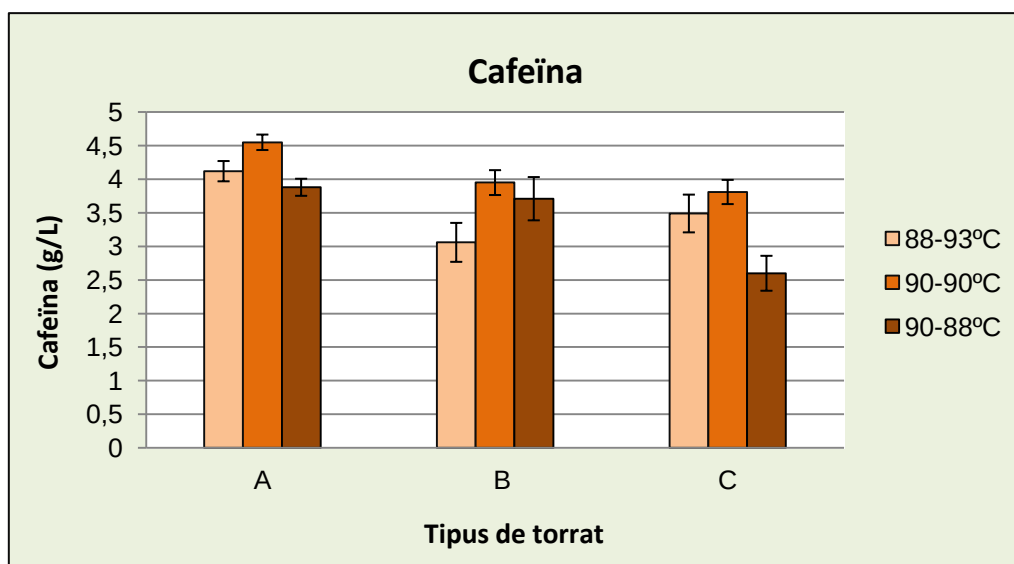


Figura 36. Contingut de cafeïna a les mostres de cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Si s'observa la figura 36, es pot veure que en el cas d'utilitzar una temperatura fixa de 90°C es produeix una major extracció de cafeïna, en comparació amb rampes de temperatura, per qualsevol dels tres graus de torrat utilitzats.

En el cas del torrat lleuger (A), quan s'utilitzen rampes de temperatura es pot observar que la rampa ascendent és millor que la rampa de temperatura descendent per l'extracció de cafeïna, el mateix passa si tenim un grau de torrat intens (C). Però si mirem el comportament de les rampes de temperatura per un grau de torrat mitjà, en aquest cas, es més favorable la corba descendent per l'extracció de cafeïna.

Si ens centrem només amb la temperatura plana de 90°C, podem observar que a mesura que augmenta el grau de torrat, el contingut de cafeïna tendeix a disminuir.

Com ja s'ha comentat anteriorment, la cafeïna és la responsable d'un 10% de l'amargor del cafè en tassa (*Illy i Viani, 2003*). De manera que, no es pot dir amb exactitud que un cafè amb un alt contingut de cafeïna és més amarg que un cafè un contingut de cafeïna més baix, sinó que s'han de tenir en compte altres paràmetres que accentuen de manera significativa l'amargor del cafè, com l'àcid clorogènic o compostos de sucres formats durant el procés de torrat.

3.10 Resultats del contingut de lípids en el cafè espresso

A la taula 12 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors del contingut de lípids de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de torrat d'un mateix cafè en gra, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 12. Resultats del contingut de lípids del cafè espresso per les diferents temperatures d'extracció i els tres graus de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens**

Lípids (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	0,16 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,24 ± 0,02
B	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,035
C	0,086 ± 0,01	0,074 ± 0,01	0,095 ± 0,01

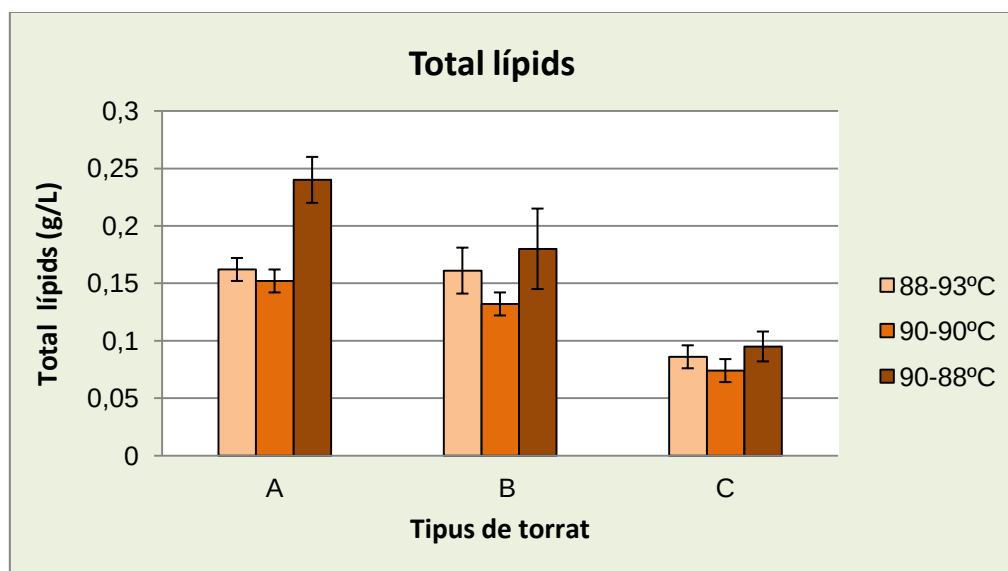


Figura 37. Contingut de lípids del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

A la figura 37, s'observa que per qualsevol dels tres graus de torrat, es produeix un augment del contingut de lípids quan s'utilitzen rampes de temperatures, ja sigui ascendent o descendent, en comparació a la temperatura fixa de 90°C. Tot i així, la rampa de temperatura descendent és la més adequada per extreure el major contingut de lípids, per qualsevol dels tres graus de torrat.

Per tant, en general, si observem el resultats podem veure que a mesura que augmenta el grau de torrat, disminueix el contingut de lípids extrets. Encara que per un grau de mitjà, quan es treballa amb una rampa de temperatura ascendent s'obté un contingut de lípids més elevat que en el cas del grau de torrat A.

El fet de que en un grau de torrat intens s'obtingui un contingut de lípids inferior, és degut a que durant el procés de torrat els lípids continguts dins el gra, emigren cap a la superfície exterior del gra i aquests s'oxiden quan es troben en contacte amb l'oxigen de l'aire, formant compostos volàtils.

3.11 Resultats del contingut de polifenols en el cafè espresso

Taula 13 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors del contingut de polifenols de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de grau de torrat d'un mateix cafè en gra, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 13. Resultats del contingut de polifenols del cafè espresso per a diferents temperatures d'extracció i per tres graus de torrat diferents. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Polifenols (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	7,62 ± 0,62	6,88 ± 0,59	7,40 ± 0,48
B	7,05 ± 0,34	6,54 ± 0,19	6,99 ± 0,22
C	6,93 ± 0,19	6,13 ± 0,47	6,52 ± 0,45

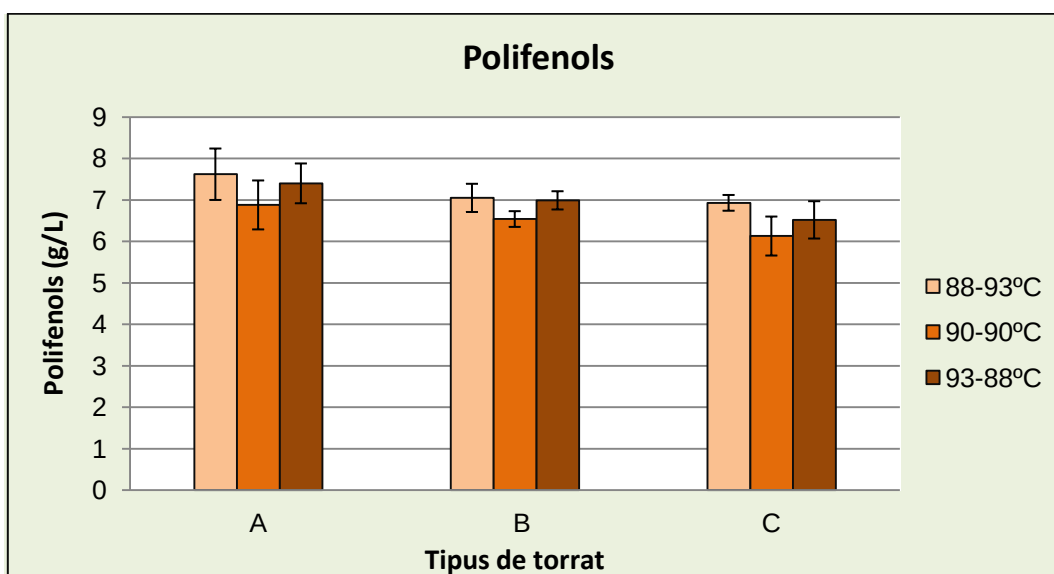


Figura 38. Contingut de polifenols del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Observant la figura 38, es pot veure que per un grau de torrat lleuger (A), s'extreu un major contingut de polifenols utilitzant rampes de temperatura, en comparació amb la temperatura fixa de 90°C. Encara que la rampa ascendent provoca una major extracció de contingut de polifenols.

Per un grau de torrat mitjà (B) passa exactament el mateix, quan s'utilitzen rampes de temperatura s'obté un major contingut de polifenols, tot i que la rampa ascendent sembla que produeix una major l'extracció dels polifenols.

Pel del torrat intens (C), també es pot observar que utilitzant rampes de temperatura, s'extreu un major contingut de polifenols, però els valors de la rampa ascendent i descendent, en aquest cas, tindrien valors molt similars a causa de l'elevada desviació estàndard i no s'observa una clara diferència.

Pel grau de torrat lleuger, el contingut de polifenols és elevat i a mesura que augmenta la intensitat del torrat, el contingut de polifenols tendeix a disminuir.

Els polifenols és un paràmetre que es relaciona amb l'astringència del cafè en tassa. En els resultats, es pot observar amb un grau de torrat lleuger es podrien obtenir espressos més astringents i, a mesura que augmenta el grau de torrat, disminuiria l'astringència de l'espresso. També s'ha demostrat que amb una temperatura plana s'obtidrien espressos menys astringents, per qualsevol dels graus de torrat, que en el cas de treballar amb rampes de temperatura.

3.12 Resultats del contingut d'àcid clorogènic en el cafè espresso

Taula 14 es mostra la mitjana i la desviació estàndard del valors del contingut de polifenols de les mostres de cafè espresso pels tres tipus de torrat d'un mateix cafè en gra, utilitzant tres temperatures d'extracció diferents.

Taula 14. Resultats del contingut d'àcid clorogènic del cafè espresso per a diferents temperatures d'extracció i per tres graus de torrat diferents. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Àcid clorogènic (g/L)			
Temperatures			
Graus de torrat	88-93 °C	90°C	93-88°C
A	0,72 ± 0,021	0,66 ± 0,019	0,69 ± 0,01
B	0,45 ± 0,010	0,34 ± 0,008	0,36 ± 0,01
C	0,41 ± 0,008	0,34 ± 0,005	0,35 ± 0,01

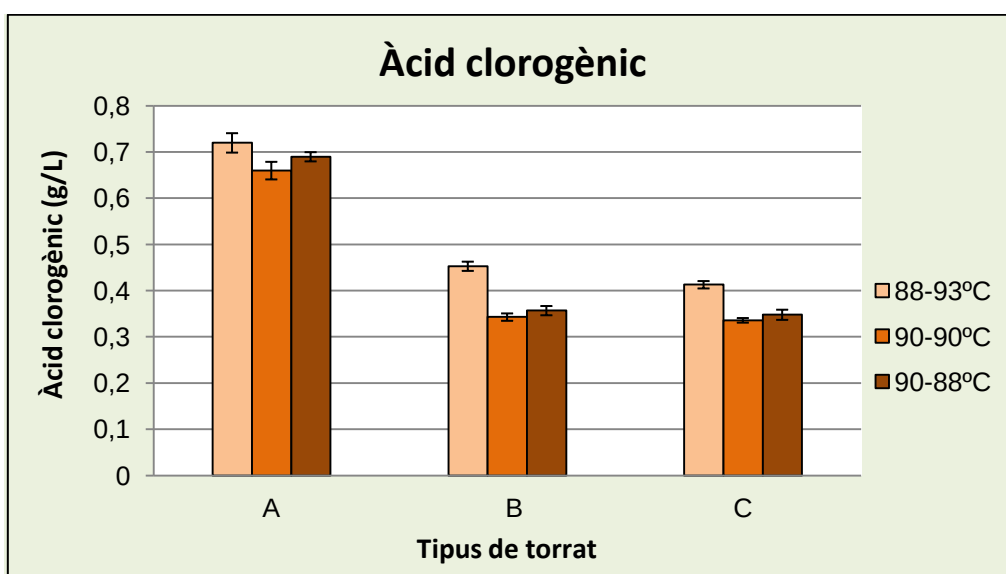


Figura 39. Contingut d'àcid clorogènic del cafè espresso extret a diferents temperatures d'extracció per cada tipus de grau de torrat. **A: torrat lleuger; B: torrat mitjà; C: torrat intens.**

Tal i com es pot observar a la figura 39, pels tres graus de torrat, s'obté una major extracció d'àcid clorogènic quan es treballa amb rampes de temperatura, encara que amb la rampa de temperatura ascendent, 88-93°C s'obté una major extracció.

Es pot veure que a mesura que augmenta el grau de torrat el contingut d'àcid clorogènic disminueix, tot i que pel grau de torrat mitjà i intens, quan es treballa amb temperatura plana de 90°C o una rampa descendent, pràcticament no es poden observar diferències.

L'àcid clorogènic és un dels principals compostos polifenòlics que caracteritzen el cafè, i el seu contingut ha estat relacionat amb el gust amarg del cafè en tassa, *Odello, 2001*.

En aquest cas, es pot veure que l'amargor contribuïda per l'àcid clorogènic és més elevada en graus de torrat lleugers, i en el cas de treballar amb graus de torrat intensos l'amargor produïda per l'àcid clorogènic disminueix.

El fet de que per un grau de torrat intens el contingut d'àcid clorogènic sigui molt baix, és degut a què aquest es degrada a mesura que augmenta el grau de torrat.

4. Discussions

Efecte de la temperatura d'extracció en les propietats físicoquímiques del cafè espresso

En tots els paràmetres analitzats s'observa que, la modificació de la temperatura d'extracció provoca un efecte similar en la variació de la propietat físicoquímica analitzada, independentment del grau de torrat del cafè.

Si es compara la corba de temperatura ascendent, 88-93°C, amb la temperatura plana d'extracció de 90°C, independentment del grau de torrat utilitzat, es produeix:

- Augment de l'Índex de crema
- Disminució de la consistència
- Persistència positiva
- Augment del pH
- Augment dels sòlids totals i filtrats
- Augment de l' ΔE
- Disminució de la cafeïna
- Augment de lípids
- Augment de polifenols
- Augment d'àcid clorogènic

Si relacionem aquests paràmetres físicoquímics amb les propietats organolèptiques que descriuen els espressos, podríem dir que s'obtindria un espresso amb més contingut de crema, que aquesta també és persistent però menys consistent, que té menor acidesa, però té més contingut de sòlids filtrats, sòlids totals i lípids, fet que indicaria més bon cos. D'altra banda s'obté un espresso de color marró més clar i amb menys contingut de cafeïna, però amb més contingut de polifenols i d'àcid clorogènic, els quals que podria indicar que seria més gustós.

Si es compara la corba de temperatura descendent, 93-88°C, amb la temperatura plana d'extracció de 90°C, independentment del grau de torrat utilitzat, hi ha:

- Lleuger augment de l'índex de crema
- Disminució de la consistència
- Persistència positiva exceptuant el grau de torrat lleuger
- Augment del pH
- Lleuger augment dels sòlids filtrats i totals
- Disminució de l' ΔE
- Disminució de la cafeïna
- Augment de lípids
- Augment de polifenols
- Pràcticament no hi ha variació del contingut d'àcid clorogènic

En el cas s'obté un espresso amb un lleuger augment del contingut de crema, la qual és menys persistent en alguns casos, i sempre menys consistent. També és un espresso menys àcid, amb més bon cos ja que augmenta el contingut de sòlids filtrats, sòlids totals i de lípids. D'altra banda, s'obtenen espressos més foscos i amb més gust que l'espresso realitzat a la temperatura de 90°C ja que disminueix el contingut de cafeïna, augmenta el contingut de polifenols i augmenta lleugerament el contingut d'àcid clorogènic, però si en general es compara amb la rampa ascendent probablement seria menys gustos, ja que els valors determinats són menors.

Efecte del grau de torrat en les propietats físicoquímiques del cafè espresso

Per una banda, s'observa com es veuen afectades les propietats físicoquímiques analitzades depenent del grau de torrat. I per altra banda, es determina si hi ha alguna correlació entre les diferents propietats i el grau de torrat, només observat els resultats de la temperatura plana de 90°C (temperatura d'extracció habitual).

En els resultats es pot observar que, s'obté major índex de crema utilitzant un grau torrat mitjà que en el cas d'utilitzar el grau de torrat lleuger i intens. De manera que no hi ha cap correlació entre l'índex de crema i el grau de torrat ($r=0,637$; $p>0,05^*$). Però observant el comportament de l'índex de crema, és possible que aquest augmenti fins un punt de torrat determinat i, un cop superat aquest punt, l'índex de crema comenci a disminuir. Per demostrar aquesta hipòtesi seria necessari l'anàlisi de més graus de torrat.

En aquest treball s'observa clarament que no hi ha cap relació entre la consistència de la crema i el grau de torrat ($r=0,337$; $p>0,05^*$) ja que per un grau de torrat mitjà s'obté una crema amb més consistència que pel grau de torrat lleuger i intens. En aquest cas també és possible que la consistència augmenti fins a un determinat punt de torrat i un cop superat aquest punt, la consistència de la crema sigui més baixa.

En els resultats s'observa clarament com el valor del pH augmenta a mesura que augmenta el grau de torrat ($r=0,963$ $p>0,05^*$). L'augment del pH amb el grau de torrat ha estat atribuït a la destrucció de l'àcid clorogènic, que és característica dels torrats intensos (Clifford, 1985). La relació que s'ha obtingut del pH en funció del grau de torrat, concorda amb el que van establir Nunes, et al., 1997 i amb el que van establir Illy i Viani, 1995, tal i com s'ha vist a la figura 13, on l'acidesa de l'espresso disminueix a mesura que augmenta el grau de torrat.

Els sòlids filtrats disminueixen a mesura que augmenta el grau de torrat, per tant hi ha una correlació negativa ($r=-0,994$ $p>0,05^*$). En el cas dels sòlids totals s'ha observat que, aquests augmenten a mesura que augmenta el grau de torrat ($r=0,981$ $p>0,05^*$),

però en altres estudis s'ha vist que els sòlids totals augmenten fins a un punt de torrat determinat i, un cop superat aquest punt, el contingut de sòlids totals disminueix (Nunes, *et al.*, 1997). En aquest treball no s'ha pogut demostrar aquest efecte, segurament pel fet de tenir només tres punts de grau de torrat.

Pel color també es pot observar que hi ha una correlació entre l' ΔE i el grau de torrat ($r=-0,927$ $p>0,05^*$), a mesura que augmenta el grau de torrat, el color del cafè en tassa és més fosc, tot i que pel grau de torrat mitjà i el grau de torrat intens, els valors són molt similars.

En el cas de la cafeïna també es pot observar que hi ha una correlació negativa amb el grau de torrat. A mesura que augmenta el grau de torrat el contingut de cafeïna disminueix ($r=-0.918$ $p>0,05^*$), encara que, en aquest treball hi ha molt poca disminució del contingut de cafeïna entre el grau de torrat mitjà i l'intens degut a l'alta desviació estàndard obtinguda. Tot i així aquesta relació entre la cafeïna i el grau de torrat, concorda amb el que van establir Hečimović, *et al.*, 2011.

També s'ha obtingut que a mesura que augmenta el grau de torrat es produeix una disminució del contingut de lípids ($r=-0.923$ $p>0,05^*$). Aquesta correlació concorda amb el que van establir Nunez, *et al.*, 1997.

Pels polifenols s'ha obtingut una correlació amb el grau de torrat. A mesura que augmenta el grau de torrat, el contingut de polifenols disminueix ($r=-0.986$ $p>0,05^*$). Tot i que en aquest treball a causa de la elevada desviació estàndard del grau de torrat intens, no es poden apreciar moltes diferències entre el torrat mitjà i el torrat intens. Per altra banda, aquesta correlació concorda amb el que van establir Hečimović, *et al.*, 2011.

En els resultats es pot observar que a mesura que augmenta el grau de torrat, el contingut d'àcid clorogènic disminueix ($r=-0.922$ $p>0,05^*$).

Illy i Viani, 1995, a la [figura 13](#) van establir que l'amargor augmenta a mesura que augmenta la intensitat del grau de torrat i si es té en compte que l'àcid clorogènic és

un dels principals compostos que dóna amargor al cafè, els resultats no concorden amb el que s'ha determinat en aquest treball. En aquest treball s'ha obtingut que el gust amarg produït per l'àcid clorogènic en un torrat intens, s'accentuaria molt poc. El fet de que no concordin els resultats amb el que van establir aquests autors pot ser degut a que hi han altres compostos, com els sucres generats en el procés de torrat, que podrien ser els principals causants de l'amargor del cafè en tassa per graus de torrat intensos.

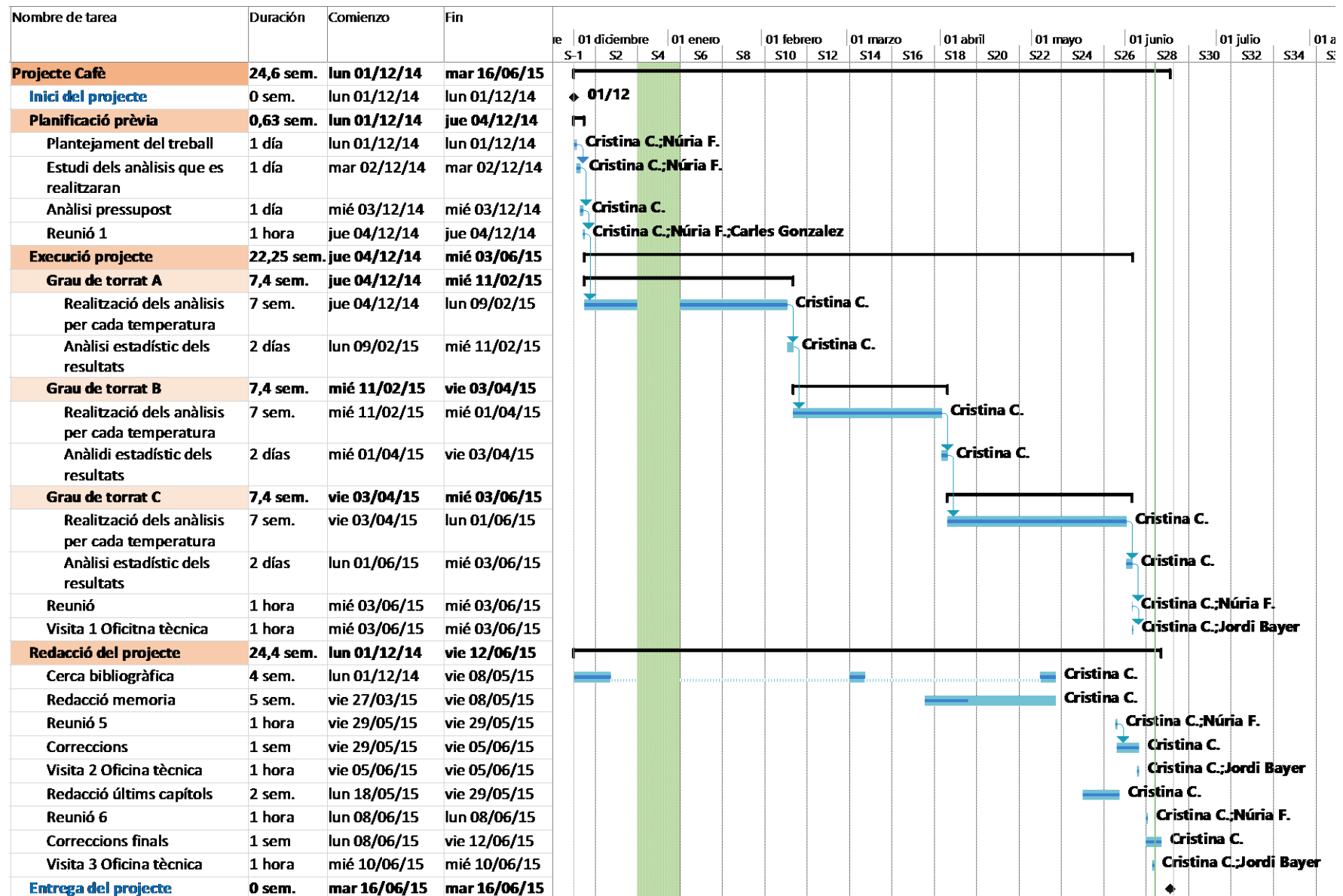
* El fet de que $p > 0,05$ fa que el valor del coeficient de correlació (r) no sigui molt fiable degut a que hi han molt poques mostres per poder observar clarament la tendència dels diferents paràmetres. Caldria tenir més mostres tant de cada un dels paràmetres analitzats com més varietats de punt de torrat.

5. Pressupost

Per realitzar el pressupost del treball, s'ha tingut en compte el preu de mà d'obra, el material i els reactius de cada un dels anàlisis. En aquest cas no s'ha tingut en compte l'amortització dels equips. A continuació es mostra un resum del pressupost, per tenir una informació més detallada es pot consultar a l'annex.

PRESSUPOST			
		DADES DEL CLIENT	
Nom	Universitat de Girona	Nom	Cafès ARCA, S.A
Direcció	C/ Maria Aurèlia Capmany	Direcció	C/Tramuntana
Població	Girona	Població	Girona
Telèfon	972 45 54 23	CIF/NIF	54 86 24
		Data	16/06/2015
		Validesa	60 dies
Paràmetres analitzats	Cost / anàlisi (€/anàlisi)	Número d'anàlisis	Total (€)
Volum total	1,494	144	215,136
Índex de crema	1,375	144	198,000
Persistència	2,788	144	401,472
Consistència	1,704	144	245,376
pH	1,400	144	201,600
Sòlids filtrats	4,080	144	587,520
Sòlids totals	4,817	144	693,648
Color	1,400	144	201,600
Cafeïna	5,527	144	795,888
Lípids	33,572	54	1.812,861
Polifenols	36,249	144	5.219,856
Àcid clorogènic	11,101	144	1.598,509
Cost total Anàlisis			12.171,470
Part escrita	Preu mà d'obra	Temps	Total
	€/h	h	€
Cerca bibliogràfica	12	60	720
Redacció	12	200	2400
Cost total part escrita			3.120
COST TOTAL DEL PROJECTE			15.291,47

6. Diagrama de Gantt



7. Conclusions

- S'ha demostrat que l'utilització de rampes o corbes de temperatura amb la màquina de cafè Rancilio XCelsius permet modificar les propietats físicoquímiques del cafè en tassa.
- En tots els paràmetres analitzats, la modificació de la temperatura d'extracció provoca un efecte similar (un augment o una disminució del valor) de la propietat físicoquímica analitzada, independentment del grau de torrat del cafè.

La rampa temperatura ascendent, 88-93°C comparada amb la temperatura plana de 90°C, permet obtenir un espresso amb més contingut de crema i, aquesta també és persistent però menys consistent. L'espresso obtingut té menor acidesa, més bon cos, de color marró més clar, amb menys contingut de cafeïna i podria ser més gustós.

La rampa de temperatura desendent 93-88°C, comparada amb la temperatura plana de 90°C, permet obtenir un espresso amb un lleuger augment del contingut de crema, la qual és menys persistent en alguns casos, i sempre menys consistent. L'espresso té menor acidesa, més bon cos, és més fosc, amb menys contingut de cafeïna i seria més gustós que l'espresso realitzat a la temperatura de 90°C, però si en general es compara amb la rampa ascendent probablement seria menys gustós, ja que els valors determinats són menors.

- S'ha demostrat que depenent del tipus de grau de torrat s'obtenen espressos amb propietats físicoquímiques diferents i que en la majoria de casos existeix una correlació entre les propietats i el grau de torrat.

Per l'índex de crema i la consistència no s'ha trobat cap correlació amb el grau de torrat. Pels valors de pH i els sòlids totals s'ha observat que hi ha una correlació positiva amb el grau de torrat: un augment del grau de torrat

provoca un augment en el valor d'aquests paràmetres. En el cas dels sòlids filtrats, el color, els lípids, la cafeïna, els polifenols i l'àcid clorgènic s'obté una correlació negativa, pel que el seu valor disminueix al augmentar el grau de torrat.

8. Perspectives de futur

En aquest treball s'ha pogut demostrar que la variació de la temperatura durant el procés d'extracció i el grau de torrat afecten a les propietats físicoquímiques dels cafès en tassa. Però no s'ha pogut determinar clarament la relació de les propietats físicoquímiques amb les propietats organolèptiques degut a que aquest treball s'ha enfocat des del punt de vista analític i no s'ha realitzat cap anàlisi sensorial com per poder determinar detalladament les característiques organolèptiques de cada espresso, realitzats amb temperatures d'extracció i graus de torrat diferents. Per tant en un futur seria interessant poder realitzar anàlisis sensorials i mirar de trobar una relació amb els resultats obtinguts en aquest treball.

8. Bibliografia

- Andueza, S., Maeztu, L., Pascual, L., Ibañez, C., de Peña, M.P., and Cid, C., (2003), *Influence of extraction temperature on the final quality of espresso coffee*, J. Sci Food Agric, 83: 240-248.
- Andueza, S., de la Peña, M.P., and Cid, C., (2003), *Chemical and sensorial characteristics of espresso coffee as affected by grinding and Torrefacto roast*, J. Agric. Food Chem, 51: 7034-7039.
- Clarke, R.J., (1985), *Coffee*, Vol. I Chemistry, pp. 42-82, Clarke R.J. & Macrae R., (Ed.), Elsevier Applied Science, London.
- Clarke, R.J., (1987b), *Roasting and grinding*, in coffee Vol. II Technology, pp.73-107, Clarke, R.J. & Macrae, R., (Ed.); Elsevier Applied Science, London.
- Clarke, R.J., (2003), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition), 1487-1493.
- Clifford M. N., & Kazi T., (1985), *The influence of coffee bean maturity on the content of chlorogenic acids, caffeine and trigonelline*, Food Chemistry, 26: 59-69.
- Dalla Rosa M, Nicoli M.C., & Lerici C.R., (1986a), *Caratteristiche qualitative del caffè espresso in relazione alle modalità di preparazione*, Industrie Aliment 9/86: 629-633.
- Dalla Rosa M., Barabanti, D. & Nicoli M.C., (1986b), *Produzione di caffè tostato ad alta resa, Qualità della bevanda di estrazione*, Industrie Aliment 7-8/86: 537-540.
- Diez, J., (2012), *Ocho Maneras de Mejorar el café*, (consulta: 12/02/2015). Accessible a: <http://honestcooking.es/ocho-maneras-mejorar-cafe/>.
- Doyle, M.P., Beuchat. L.R., Montville, T.J., (2001), *Food Microbiology, Fundamentals and Frontiers*, (Ed.); ASM Press, E.E.U.U.

- Fernández, F.R., (2014), *Café y salud*, (consulta: 02/05/2015). Accessible a:
http://www.federacioncafe.com/Documentos/UltimaHora/Publico/LIBRO_CAF_E_OK.pdf
- García, R.L., Olmo, E.V., (2009), *Proceso de Elaboración del café*, (consulta: 5/04/2015). Accessible a:
<http://ben.upc.es/documents/eso/aliments/HTML/estimulantes-4.html>
- Gloess N.A., Vietri A., Wieland F., Smrke S., Schönbächler B., Sánchez López J.A., Petrozzi S., Bongers S., Koziorowski T., Yeretizian C., (2014) *Evidence, of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTE-ToF-MS*, International Journal of Mass Spectrometry, 365-366, 324-337.
- Guyot, B., Tchana, E. & Vincent, J.C., (1985), *Corrélations entre caracteristiques chimiques du café torréfié et paramètres de torréfaction*, Proc 11th ASIC Coll, 319-331.
- Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., Komes, D., (2011), *Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting*, Food chemistry, 129: 991-1000.
- Illy, A. & Viani, R., (1995), *Espresso coffee the chemistry of quality*, (Ed.); Elsevier Academic Press, San Diego.
- Illy, A. & Viani, R., (2005), *Espresso Coffee: the science of quality*, (Ed.); Elsevier Academic Press, Amsterdam
- Illycaffe S.p.A, (2008), *El espresso* (consulta: 25/04/2015). Accessible a:
<http://www.illy.com/wps/wcm/connect/es/cafe/mezcla-tueste>.
- Maier, H.G., (1985), *On the composition of fast roasted coffee*, Proc 11th ASIC Coll, 291-296.

- Maier, H.G., (1993), *Status of research in the field of non-volatile coffee components*, Proc 15th ASIC Coll, 567-576.
- Nunes, F.M., Coimbra, M.S., Durante, A.C., and Delgadillo, I., (1997), *Foamability, Foam Stability, and chemical composition of espresso coffee as affected by the degree of roast*, J. Agric. Food chem, 45: 3238-3243.
- Odello, L., Odello, C., (2001), *Espresso Italiano tasting*, Instituto internazionale Assaggiatori Caffè, L'assaggio n.8, (Ed.); Centro Studi Assaggiatori Società Cooperativa, Italia.
- Puerta Q.,G.I., (2011), *Composición química de una taza de café*, Centro nacional de investigadores de café, Cenicafé, 11p, (Avances Técnicos No. 284).
- Pictet, G., (1987), *La torréfaction du café*, Processus technologique et transformations chimiques, Proc 12th ASIC Coll, 282-293.
- Rancilio Group, (2015), *Rancilio coffeering the world*, (consulta: 25/04/2015).
Accessible a:
http://www.ranciliogroup.com/2-Rancilio-Coffee-Machines--Classe_9.
- Santos S. A. O., Pinto P. C. R. O., Silvestre A. J. D., & Neto C. P., (2010), *Chemical composition and antioxidant activity of phenolic extracts of cork from Quercus suber L.* Industrial Crops and Products, 31: 521–526.
- Salamanca, C.A., (2015), *Métodos Estadísticos para Evaluar la Calidad del Café*, Departament d'Enginyeria Química, Agrària i tecnologia Agroalimentària, Universitat de Girona.
- Varnam, A.H., Sutherland, J.R., (1997), *Bebidas. Tecnología, Química y Microbiología*, (Ed.); Acriba, Zaragoza.
- Von Gimborn C.H., Finken, H., & Jansen, G., (1987), Verfahren zum Kühlen von röstheissem, körnigem, rieselfähigem Gut; Eur Pat 0,314,827.

Wrigley, G., (1988), *Coffee*, Longman Scientific & Technical, Harlow, (Ed.); Essex, UK, p.69.

9. Annex

ANNEX I: Informació detallada del pressupost

Cost mà d'obra	Preu mà d'obra	Temps d'anàlisi	Cost mà d'obra/anàlisi
	€/h	h/anàlisi	€/anàlisi
Volum total	15	0,083	1,245
índex de crema	15	0,083	1,245
Persistència	15	0,170	2,55
Consistència	15	0,100	1,5
pH	15	0,080	1,2
Sòlids totals	15	0,250	3,75
Sòlids filtrats	15	0,300	4,5
Color	15	0,080	1,2
Contingut cafeïna	15	0,330	4,95
Contingut lípids	15	2,00	30
Contingut polifenols	15	2,25	33,75
Contingut àcid clorogènic	15	0,67	10,05

Cost dels reactius	Reactius	Preu Reactiu/anàlisi	Cost total reactius/anàlisi
	nom	(€/anàlisi)	(€/anàlisi)
Contingut cafeïna	Patró cafeïna	0,015	0,028
	Metanol	0,013	
Contingut lípids	Hexà 1L	1,47	1,473
	Sulfat de sodi	0,0025	
Contingut polifenols	Àcid gàlic	0,0037	0,559
	Folin-ciocalteu 200 mL	0,55	
	Carbonat de sodi	0,0054	
Contingut àcid clorogènic	Acetonitril	0,059	0,633
	Patró àcid clorogènic	0,56	
	Metanol	0,00016	
	Carriez I	0,0048	
	Carriez II	0,005	
	Àcid fòrmic	0,0038	

Cost del material	Material	Preu material/anàlisi	Cost total material/anàlisi
	nom	€/anàlisi	€/anàlisi
Volum total	Vasos precipitats 100 mL	0,200	0,249
	Provetes	0,049	
índex de crema	Vasos de precipitats 50 mL	0,130	0,13
Persistència	Vasos de precipitats 50 mL	0,130	0,238
	Cronòmetre	0,108	
Consistència	Vasos de precipitats 100 mL	0,200	0,204
	Malla metàl·lica	0,0035	
pH	Vasos de precipitats 100 mL	0,200	0,2
Sòlids totals	Vasos de precipitats 100 mL	0,200	0,33
	Vasos de precipitats 50 mL	0,130	
Sòlids filtrats	Vasos de precipitats 100 mL	0,200	0,317
	Papers de filtre	0,039	
	Vidres de rellotge	0,078	
Color	Vasos de precipitats 100 mL	0,200	0,2
Contingut de cafeïna	Matrassos aforats 100 mL	0,375	0,549
	Xeringues hplc	0,0025	
	Filtres hplc	0,0012	
	Tubs d'assaig	0,032	
	Parafilm	0,138	
Contingut de lípids	Embuts de decantació	1,460	2,099
	Balons	0,185	
	Suport pels embuts	0,0089	
	Vasos de precipitats 100mL	0,200	
	Pipeta graduada de 50 mL	0,130	
	Pipeta graduada de 20 mL	0,060	
	Pipeta graduada de 10 mL	0,055	
Contingut de polifenols	Matràs aforat de 500 mL	1,110	1,940
	Erlenmeyer de 250 mL	0,660	
	Tubs d'assaig	0,032	
	Parafilm	0,138	
Contingut d'àcid clorogènic	Vasos de precipitats 100mL	0,200	0,418
	Tubs de centrifuga	0,054	
	Matràs aforat de 10 mL	0,022	
	Xeringues hplc	0,0025	
	Filtres hplc	0,0012	
	Parafilm	0,1380	

	Cost de mà d'obra/anàlisi	Cost dels reactius/anàlisi	Cost de Material/anàlisi	Cost total/anàlisi	Número d'anàlisis	Total
	€/anàlisi	€/anàlisi	€/anàlisi	€/anàlisi		€
Volum total	1,245	-	0,249	1,494	144	215,136
Índex de crema	1,245	-	0,13	1,375	144	198,000
Persistència	2,55	-	0,238	2,788	144	401,472
Consistència	1,5	-	0,204	1,704	144	245,376
pH	1,2	-	0,2	1,400	144	201,600
Sòlids totals	3,75	-	0,33	4,080	144	587,520
Sòlids filtrats	4,5	-	0,317	4,817	144	693,648
Color	1,2	-	0,2	1,400	144	201,600
Contingut de cafeïna	4,95	0,028	0,549	5,527	144	795,888
Contingut de lípids	30	1,473	2,099	33,572	54	1812,861
Contingut de polifenols	33,75	0,559	1,840	36,249	144	5219,856
Contingut d'àcid clorogènic	10,05	0,633	0,418	11,101	144	1598,509
				COST TOTAL DELS ANÀLISIS		12171,47

