

# Caracterització d'olis aromatitzats amb tòfona en comparació amb els compostos orgànics volàtils (COV) de la tòfona *Tuber melanosporum* mitjançant anàlisi sensorial i cromatogràfica per HS-SPME/GC-MS *Characterization of truffle-flavoured oils compared to volatile organic compounds (VOCs) of *Tuber melanosporum* truffles using sensory and chromatographic analysis by HS-SPME/GC-MS*

Consol Blanch,<sup>1</sup> Carlos Ibáñez,<sup>2</sup> Amparo Tàrrega<sup>3</sup> i Miriam Torres-Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya. Facultat de Ciències, Tecnologia i Enginyeries. Departament de Biociències

<sup>2</sup> Divisió d'Innovació de Lucta, SA

<sup>3</sup> Institut d'Agroquímica i Tecnologia Alimentària (IATA-CSIC)

**Resum:** El secret de la gran popularitat de les tòfones rau majoritàriament en els seus compostos orgànics volàtils (COV), els quals són els responsables de la seva olor característica. En aquest article es dona una visió global de les tòfones, del seu origen i de les seves propietats fisicoquímiques, nutricionals, organolèptiques i biològiques. Com a exemple dels components volàtils en productes derivats de la tòfona *Tuber melanosporum*, es mostren els resultats d'un estudi comparatiu dels COV que s'alliberen en olis comercials aromatitzats o amb tòfona macerada. La caracterització dels COV es va fer mitjançant una anàlisi química instrumental —microextracció en fase sòlida de l'espai de cap (HS-SPME) combinada amb cromatografia de gasos i espectrometria de masses (GC-MS)— i una anàlisi sensorial amb un panell de tastadors entrenats.

**Paraules clau:** Tòfona, *Tuber melanosporum*, oli aromatitzat de tòfona, COV, HS-SPME, GC-MS, descriptors d'aroma de tòfona, avaluació sensorial, panell de tast.

**Abstract:** The secret of the great popularity of truffles lies mainly in their volatile organic compounds (VOCs), which produce their characteristic smell. This paper provides an overview of truffles in general as well as of their origin and their physico-chemical, nutritional, organoleptic and biological properties. As an example of the volatile compounds in derivatives of the truffle *Tuber melanosporum*, the results are presented of a comparative study of the VOCs that are released in aromatized commercial oils or those containing macerated truffles. The characterization of the VOCs was carried out by instrumental chemical analysis – headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS) – and sensory analysis by a panel of trained professional tasters.

**Keywords:** Truffle, *Tuber melanosporum*, truffle-flavoured oil, VOC, HS-SPME, GC-MS, truffle flavour descriptors, sensory evaluation, trained tasting panel.

## Introducció

La tòfona és considerada un producte alimentari de gran valor culinari i és molt apreciada en alta gastronomia, especialment per la seva aroma característica. Les tòfones són el cos de fructificació d'un fong ascomicet hipogeu ectomicorrídic de la família de les tuberàcies, de l'ordre de les pezizals. Aquests fongs necessiten un arbre hoste (alzines, roures, avellaners, coscolls, pins...);

les hifes del miceli del fong envolten les arrels de l'arbre hoste i s'origina la simbiosi. L'arbre proporciona carbohidrats i altres compostos orgànics derivats de la fotosíntesi al fong i, a la vegada, aquest aporta més aigua i sals minerals a l'hoste. Donada la rellevància que ha anat adquirint en els darrers temps l'ús de la tòfona entre els consumidors, en el present article ens hem marcat com a objectius, d'una banda, posar de manifest alguns aspectes generals entorn del món de la tòfona a tall de divulgació i, de l'altra, més en particular, presentar els resultats d'un estudi realitzat per a caracteritzar el perfil dels compostos orgànics volàtils (COV), responsables de l'olor de la tòfona. L'estudi està aplicat a la determinació de la composició de la fracció volàtil d'olis comercials —preparats amb tòfona macerada o amb aromatitzants—, mitjançant una anàlisi cromatogràfica i sensorial, per tal d'avaluar-ne l'autenticitat.

Correspondència: Consol Blanch  
Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya. Facultat de Ciències, Tecnologia i Enginyeries. Departament de Biociències  
C. de la Laura, 13. 08500 Vic  
Tel.: +34 938 815 519 / 620 256 375  
A/e: [consol.blanch@uvic.cat](mailto:consol.blanch@uvic.cat)

## Aspectes generals a l'entorn del món de la tòfona

### *Una mica d'història*

Des de l'antiguitat, les tòfones van ser conegudes i consumides per babilonis, etruscs, egipcis, grecs i romans [1, 2]. Aquest fong va estar envoltat d'un gran misteri, ja que no se sabia d'on provenia. Per exemple, es diu que Teofrast, deixeble d'Aristòtil (segle III abans de la nostra era), sostenia que la tòfona naixia de les pluges i les tempestes de la tardor. Uns cent anys més tard, Nicandre, poeta grec, pensava que les tòfones eren modificades per una mena de calor interna de la terra. Al segle I, Dioscòrides —metge, botànic i escriptor grec de temes de medicina, que també va viure a Roma— anomenava les tòfones «turmes de la terra» i les descrivia com «una rel esfèrica sense fulles ni tija, una mica vermelles si s'extreuen a la primavera i es mengen tant crues com cuites». Durant aquest primer segle Plini el vell confirmava la definició de Dioscòrides i afegia que «les tòfones són una callositat de la terra, que neixen espontàniament i que no es poden sembrar» [3]. El misteri de les tòfones va ser més emfasitzat per la seva màgica olor i també perquè, presumiblement, se'ls atorgava qualitats afrodisíacques, com afirmava el metge grec Galè (segle II), el qual les prescrivia als seus pacients perquè creia que eren molt nutritives i vitalitzants.

Durant l'edat mitjana, les tòfones van perdre popularitat, tot i que es troben documents escrits sobre els seus usos, com recollir-les o caçar-les i, també, es descriu que es van fer servir tòfones en els banquets de noces de Carles VI de França amb Isabel de Baviera (1385) [4]. Durant el segle XVI, en el Renaixement italià, l'ús de la tòfona va ser molt apreciat, el seu consum anava dirigit a reis, prínceps i nobles; aquest corrent també es va introduir a França. No obstant, va ser més aviat rebutjat a Espanya, a causa de les recomanacions —poc favorables a consumir tòfona— del doctor Andrés de Laguna (Segòvia, 1510-1559), metge del papa Juli III [1], que havia fet unes revisions de l'obra de Dioscòrides. El metge espanyol va publicar una extensa ampliació de l'original grec, però atribuïa a la tòfona unes malalties indesitjables. En realitat, hom creu que, donades les qualitats afrodisíacques que s'associaven a les tòfones, Laguna volia allunyar el Papa i els creients de les males temptacions. Degut a això, la tòfona no es va arribar a incorporar a la gastronomia tradicional de la Península, com

es va fer a la francesa o a la italiana, i era consumida estrictament per la pagesia coneixedora de les tofoneres silvestres.

A tall d'informació local, durant el segle XVII, a Catalunya es troben referències a l'activitat econòmica de la plana de Vic i de les relacions comercials que es produïen amb Barcelona i França; en concret, en el *Memorial Puigrubí, 1651-1690*, a cura de Josep Maria Passola, que es va dedicar a l'ordenació, transcripció i anàlisi detallada de la correspondència de Josep Puigrubí [5, 6]. Entre les cinc mil cartes analitzades n'hi ha unes quantes que fan referència al tema de les tòfones, la qual cosa permet comprovar que durant la segona meitat del segle XVII la tòfona ja era un producte especialment valorat a Catalunya i es trobava als inicis de la seva comercialització. Josep Puigrubí va comptar entre els seus clients amb el duc de Sant German, virrei de Catalunya d'origen napolità; la correspondència la mantenia amb Maurici de Lloreda, apoderat del virrei. El conjunt de cartes més significatives respecte a fer lloances del valor comercial de les tòfones i la seva exquisidesa culinària estan datades entre maig i octubre de 1675. Com a mostra s'esmenta el comentari final que inclou Maurici de Lloreda a la carta de l'1 de maig, on diu que al duc li agrada molt el consum de tòfones i li suplica que li envii un cistell de tòfones que siguin bones i grosses; li comenta també com pagar-les-hi:

Lo duch de San German mi senyor és molt amich de tòfonas; si se'n trobava alguna sistella que fossen bonas y grossas li suplico me las envio avisant-me del cert per a poder-o cobrar del majordom y dar satisfacció a vostra mercè que axis m'o an advertit y resto per lo que sia servit manar-me. Guarde Déu a vostra mercè. Barcelona a primer maig 1675.

Puigrubí no les hi va voler cobrar mai, com a estratègia de bon comerciant. Segons conclou Juvanteny [6] en la seva ponència a la III Jornada de Divulgació del Conreu i les Característiques de la Tòfona (2014), «es pot deduir d'aquestes cartes que al segle XVII la tòfona s'estava convertint en un producte selecte, molt apreciat en determinats ambients, tot i que probablement aquest producte encara era desconegut per la majoria de la població i es trobava en el moment inicial de la seva comercialització».

Durant el segle XVIII es van fer avenços en el coneixement de la tòfona. No va ser fins al 1711 que Claude Joseph Geoffroy —farmacèutic, botànic i químic francès— va fer unes observacions essencials que li van permetre la identificació de les tò-

fonos [7] com a fongs. Aquestes observacions van ser confirmades el 1778 per Pier Antonio Micheli, botànic italià, que va reforçar la hipòtesi de Geoffroy, va descriure les espores de la tòfona i va poder diferenciar entre la tòfona negra i la d'estiu [2, 8].

A cavall entre el segle XVIII i XIX, s'ha de destacar la figura d'Antelme Brillat-Savarin (1755-1826), advocat i polític, estudiós de la química i la medicina i virtuós del violí, però que ha passat a la història com el fundador de la gastronomia moderna. A la seva obra *Physiologie du goût, ou méditations de gastronomie transcendante* («Filosofia del gust o meditacions de gastronomia transcendental»), publicada el desembre de 1825, dedica unes quantes pàgines a les tòfones i les anomena els «diamants de la cuina». Brillat-Savarin va conèixer les tòfones del Piemont (*Tuber magnatum*) i les de la Borgonya (*Tuber uncinatum*, varietat de la *Tuber aestivum*), tot i que, segons ell, la millor és la del Perigord i l'Alta Provença (*Tuber melanosporum*).

Durant el segle XIX són de destacar els investigadors Carlo Vittadini i els germans Tulasne, considerats els fundadors de la micologia moderna. Vittadini, metge i micòleg italià, és autor de publicacions importants sobre la família de les tuberàcies, de tal manera que en la classificació de moltes *Tubersp.*, en el seu nom, en tercer terme apareix *Vitt.* en el seu honor. Edmond (Louis René) Tulasne, botànic francès, i el seu germà Charles, metge i també botànic, van publicar el 1851 una de les seves millors obres, *Fungi Hypogaei*, amb unes magnífiques il·lustracions, molt detallades, creades per Charles.

També a principis del segle XIX, Josef Talon, granger francès, va desenvolupar el primer mètode de conreu de tòfones, el qual consistia a plantar glans sota els roures on s'havien trobat tòfones. Començava a mencionar la relació entre tòfona i arbres. L'adaptació dels mètodes de Talon es van veure reforçats com a alternativa al conreu de la vinya que, per aquella època, havia quedat arrasada per la plaga de la fil·loxera. Cap a finals de segle apareixen els primers tractats de tubercultura, el de Chatin, *La truffe. Études des conditions générales de la production truffière* (1869), i el de Bosredon, *Manuel de trufficulture* (1887) [1]. Aquestes tècniques es van utilitzar fins a la segona meitat del segle XX. Des d'aleshores, científics italians i francesos han fet avenços en la preparació de plànules d'arbres hostes inoculades amb la micorriza de la *Tuber sp.* desitjada.

Tot i que Chatin cita que s'importaven tòfones d'Espanya, la història recent d'aquest producte a escala estatal no comença fins als inicis de la postguerra, el 1940-1950. Els primers tofonaires, probablement francesos, van iniciar l'exploració de la zona prepirinenca catalana tot cercant tòfones *Tuber melanosporum* silvestres, ja que aquestes contrades reuneixen condicions de sòl, vegetació i meteorologia similars a la zona del Perigord francès. Més tard els catalans van ampliar la cerca per Aragó i el País Valencià i d'aquestes zones es va ampliar a Sòria i Guadalajara. La gran disminució de producció de tòfona silvestre va promoure la implantació de la tubercultura, si bé no al mateix ritme que a França; les primeres plantacions van ser a les províncies de Castelló (1968) i Sòria (1970) i posteriorment a Terol. A Catalunya l'inici de la tubercultura encara va anar més retardat; no va ser fins al tombant de segle XX a XXI que hi van aparèixer les primeres plantacions [9].

Des de fa molts anys, a França i a Itàlia existeixen centres específics per a la recerca en el camp de la tubercultura que treballen en col·laboració [10]; la seva tasca va tenir una fita culminant el 2010 en poder assignar el genoma de la *Tuber melanosporum* [11]. Havien passat dos-cents trenta-dos anys des que Micheli va descriure les espores de la tòfona [2, 8] i va poder diferenciar entre la tòfona negra i la d'estiu. A l'Estat espanyol fins als anys noranta hi ha molt poques publicacions relacionades amb la tòfona i la tubercultura, si bé recentment han aparegut centres de recerca públics i privats lligats a les zones on s'han establert les primeres plantacions i la producció científica s'ha incrementat considerablement [12, 13]. En l'actualitat, a Catalunya existeix un centre públic anomenat Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), amb seu a Solsona (Lleida), que es va constituir inicialment entre el Consell Comarcal del Solsonès i la Universitat de Lleida l'any 1996 i, posteriorment, s'hi van incorporar la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació, la Generalitat de Catalunya i la Universitat Autònoma de Barcelona, entre altres [14]. Cal destacar la gran tasca de recerca que hi realitza l'equip del doctor Carlos Colinas tant en la recerca bàsica entorn de la tòfona i el control de la micorrizació com en la recerca aplicada, fent el seguiment dels treballs de camp en la implantació de tubercultura, sota el mestratge del doctor Daniel Oliach, enginyer de forest [8, 15, 16].

Des de la vella Europa s'han exportat iniciatives de tubercultura arreu del planeta: a la costa nord-oest americana —espe-

cialment a Canadà i Oregon—, Austràlia, Nova Zelanda, Xile, Turquia, la costa nord-africana i, també, Sud-àfrica, principalment. En general, els temes de recerca que predominen entre els investigadors d'aquest àmbit són: micorrizació, biologia molecular, taxonomia, competència micorrízica, qualitat de la planta hoste, components orgànics volàtils de la tòfona i la seva biosíntesi, tècniques de control en tubercultura i influència del canvi climàtic en l'ecologia de la tòfona.

### Tipus de tòfones

En l'actualitat es coneixen al voltant d'unes dues-centes espècies de tòfones al món. Les més conegudes es recullen a la taula 1, on se n'indica la qualitat gastronòmica i el valor al mercat. A Europa existeixen al voltant de trenta espècies de tòfones, de les quals, la que té més valor al mercat és la *Tuber magnatum*, o tòfona blanca d'Alba, al Piemont; els intents de conrear aquesta espècie no van tenir èxit, tot i que, recentment, n'hi ha camps experimentals a França que auguren bons resultats [17, 18]. La *Tuber melanosporum*, o tòfona negra del Perigord, és la més apreciada de les tòfones negres i la que ha donat més bons resultats per a la tubercultura.

Les tòfones silvestres que es troben i es comercialitzen —principalment per a exportació— a Catalunya, són: la tòfona blan-

ca d'estiu (*T. aestivum*); la tòfona gravada, tòfona de tardor o tòfona de Borgonya (*T. uncinatum*, una variant de la *T. aestivum*); la tòfona d'hivern o magenca (*T. brumale*), i la tòfona negra o tòfona del Perigord (*T. melanosporum*). A la figura 1 es mostren l'aspecte exterior (el peridi) i l'aspecte interior (la gleba) de les dues espècies de tòfona que s'estan cultivant actualment, la *T. melanosporum* (figura 1a) i la *T. aestivum* (figura 1b), donat el seu interès econòmic i gastronòmic, segons manifesten des de l'Associació de Productors de Tòfona de Catalunya [15, 16, 20-23].

Les tòfones *T. melanosporum* madures contenen milions d'espores a la gleba, tancades en els ascis amb 1-4 espores, i fins i tot amb 6 en alguns casos. Com es pot observar en la figura 2, en *a* apareixen ascis amb espores en diferents estadis de maduració; en *b* s'observa una espora que ha iniciat la seva germinació, es pot veure l'hifa que més tard esdevindrà el miceli que es convertirà en la micorriza en fer simbiosi amb l'arbre hoste; en *c* es mostra un glomèrul de micorriza de *T. melanosporum*. Les espores d'aquesta tòfona són molt negres degut a l'elevat contingut de melanina que contenen, la qual es desenvolupa plenament en el seu estat òptim de maduresa. La formació de la melanina és un procés lent que es du a terme a partir de la tirosina per acció de l'enzim tirosinasa, que conté coure [24]. Per tal d'evitar confusions en la denominació habitual de les tòfones a casa nostra, s'ha de considerar que tots

TAULA 1. Espècies de tòfona més importants. Elaboració pròpia.

Nom comú	Nom científic	QG	VM
Tòfona blanca, tòfona d'Alba	<i>T. magnatum</i> (= <i>Tartufo bianco</i> )	Alta	Alta
Tòfona negra del Perigord	<i>T. melanosporum</i>	Alta	Alta
Tòfona d'hivern o magenca	<i>T. brumale</i>	Alta	Alta
Tòfona d'estiu	<i>T. aestivum</i>	Alta	Alta
Tòfona de la Borgonya	<i>T. uncinatum</i>	Alta	Alta
Tòfona vermella	<i>T. rufum</i>	Alta	Alta
Tòfona de Bagnoli	<i>T. mesentericum</i> (= <i>T. bituminatum</i> )	Alta	Alta
Tòfona amb cavitat buida	<i>T. excavatum</i>	Alta	Alta
Tòfona negra llisa o suau	<i>T. macrosporum</i>	Alta	Alta
Tòfona del desert	<i>Terfezia</i> spp.	Alta	Alta
Tòfona xinesa	<i>T. indicum</i> (= <i>T. sinense</i> )	Alta	Alta
Tòfona de l'Himàlaia	<i>T. himalavense</i>	Alta	Alta



QG = qualitat gastronòmica

VM = valor al mercat

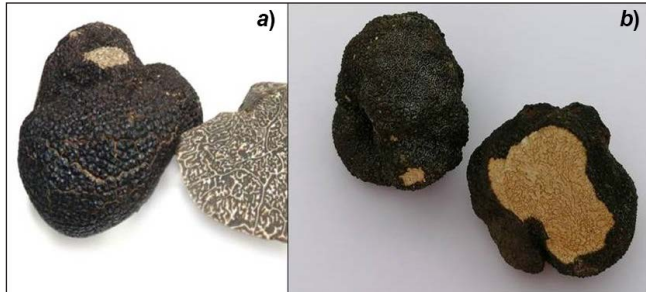


FIGURA 1. Aspecte del peridi i de la gleba de les tòfones més cultivades a Catalunya: a) *Tuber melanosporum* i b) *Tuber aestivum*. Fotografies de C. Blanch.

quatre tipus de tòfones silvestres esmentats presenten el peridi negre, si bé per a la seva classificació s'assigna el nom de *tòfona negra* a la que té la gleba ben negra, amb fines ramificacions blanques (vegeu la figura 1a), és a dir, a la *T. melanosporum*. Les altres varietats silvestres presenten ramificacions blanques més grans i els ascis amb les espores de la gleba donen tonalitats marronoses/grisoses segons l'espècie [25]. El nom de *tòfona blanca* a casa nostra es reserva per a la *T. aestivum* (vegeu la figura 1b), en la qual les ramificacions i els ascis de la gleba són blanquinosos o lleugerament marro-nosos. En algunes publicacions acadèmiques recents [2] el criteri per a la classificació de les tòfones el basa en el color del

peridi. Així, la nostra tòfona blanca queda en el grup de les tòfones negres i entre les tòfones blanques s'hi troben únicament les de peridi blanc: *T. magnatum*, *T. borchii* o *bianchetto*, *T. excavatum*.

En els darrers vint anys han aparegut un gran nombre d'estudis científics que han aportat moltes dades sobre l'ecologia de la tòfona negra; és a dir, sobre els processos que intervenen en el seu desenvolupament i fertilització, la seva interacció amb el sòl [26], l'assignació del genoma i l'explicació dels mecanismes de la simbiosi [11], i l'aïllament i caracterització dels seus gens [27]. Entre aquests gens, s'ha detectat que n'hi ha uns que són portadors de *material matern* i d'altres que són portadors de *material patern* de *T. melanosporum*, tant en sòls productius i com en no productius [28]. Així ha quedat assumit que cadascuna de les espores contingudes en un asc és portadora d'un dels dos tipus de material d'encreuament. Això vol dir que, en germinar les espores d'un asc, s'originen micelis de dos tipus diferents: un és portador de *material matern* i l'altre és portador de *material patern*. La fertilització —i, per tant, l'origen d'una tòfona— es dona quan el miceli d'una micorriza amb *material matern* es troba amb un miceli portador de *material patern*.

### Cicle biològic de la *Tuber melanosporum* Vitt.

A la figura 3 s'esquematzitza el cicle biològic anual de la *T. melanosporum*. Per al seu bon desenvolupament es necessiten unes característiques edàfiques idònies i que durant l'any les condicions meteorològiques s'ajustin a les necessitats d'aigua i temperatura adients en cada moment del cicle; i també, altres pràctiques culturals agronòmiques d'actuació per tal d'assegurar una bona producció [8, 16, 29].

La campanya de recollecció d'aquesta tòfona negra va del 15 de novembre al 15 de març. En finalitzar la campanya sempre queda tòfona madura al sòl, les espores de la qual seran disseminades pels mamífers predadors, nematodes, insectes... És per això que les pluges de primavera afavoreixen la germinació de les espores, es formen les hifes i posteriorment els micelis que s'ancoren a l'arrel per esdevenir les micorrizes; d'aquestes, com s'esmentava abans, unes seran portadores de *material matern* i les altres de *material patern*. La fertilització es produeix entre maig i juny; es formen els primordis i s'inicia la fructificació. Juliol i agost és el període

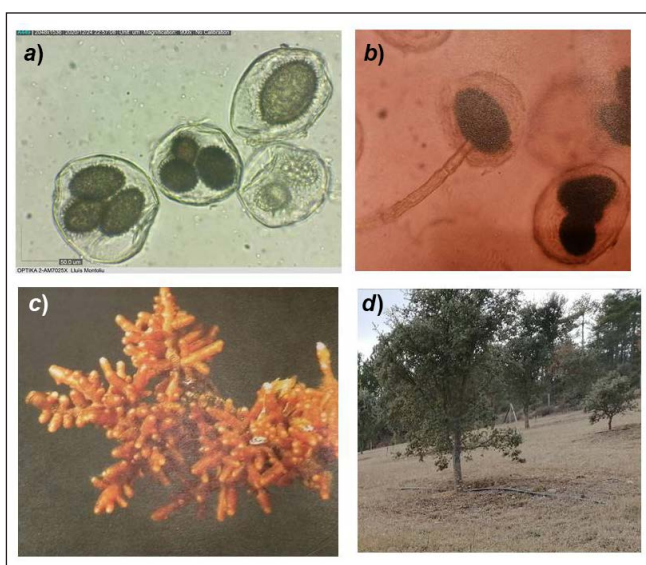


FIGURA 2. Ascis, espores i micorrizes de *T. melanosporum* Vitt., i detall d'un camp experimental de tubercultura del CTFC: a) ascis amb espores en diferents graus de maduració (fotografia de L. Montoliu); b) espora en procés de germinació (reproduït de [8]); c) micorrizes agrupades en un glomèrul (reproduït de [8]); d) camp experimental, a la base de l'arbre hoste s'aprecia el cremat circular (fotografia de C. Blanch).

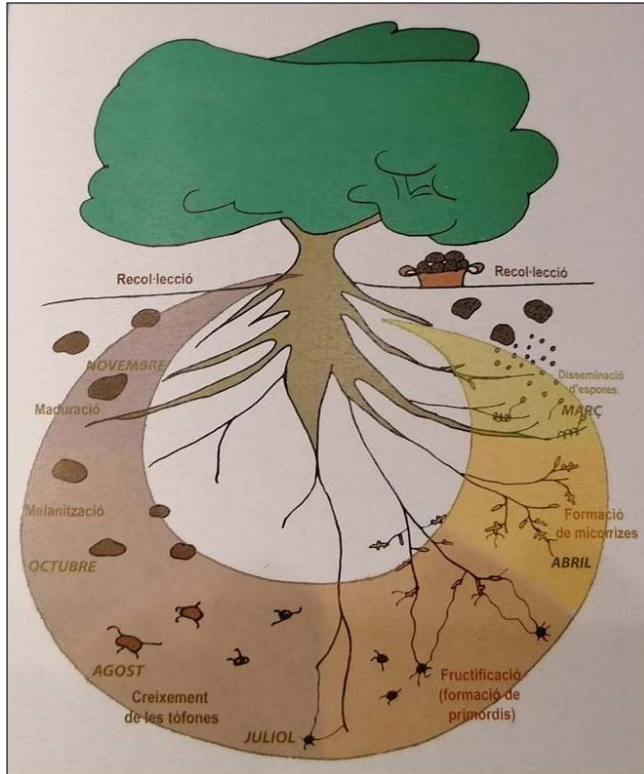


FIGURA 3. Cicle biològic de la *Tuber melanosporum* Vitt. Reproduït de [8].

de creixement de les tòfones; és per això que també a l'estiu les tofoneres necessiten molta més aigua. Aquest fet lligaria amb el que sostenia Teofrast, quan deia que la tòfona naixia de les pluges i les tempestes de la tardor [1]. Durant la tardor, en la tòfona adulta es donen processos metabòlics importants per a la seva maduració, tals com la formació de melanina, que regula la qualitat de les espores, i la producció de compostos orgànics volàtils (COV), que a part de conferir la qualitat més apreciada de la tòfona, són el mitjà de comunicació amb l'entorn per tal de preparar el seu nou cicle biològic.

La presència de tòfones té incidència en la composició bioquímica de la rizosfera —entorn del sòl, en el subsol de l'arbre a 5–20 cm, on es desenvolupen les micorrizes i es van expandint— i en aquesta zona també es veu afectada la fauna del sòl [30–33]. La tòfona negra allibera uns metabòlits aromàtics secundaris del grup del sofre, entre ells sulfur de dimetil (DMS), com a estratègia per a atreure predadors [11, 34, 35]. Aquest fenomen és típic d'organismes subterranis que depenen de l'activitat d'altres animals per a la dispersió de les seves espores [1]. També s'alliberen altres COV, etilè i

1-octen-3-ol —ambdós, tant des del cos fructífer com des del miceli—, els quals modifiquen la biogeoquímica del sòl, de tal manera que aquests compostos actuen com a fitotòxics, tot inhibint la germinació i el creixement d'altres plantes a l'entorn de l'arbre hoste. A la base de l'hoste es genera una àrea sense vegetació anomenada *cremat* (vegeu la figura 2d). L'existència d'aquest *cremat* és un indicador de presència de miceli en el sòl [36–40]. La fauna del sòl moltes vegades també es veu afectada per la presència d'etilè i d'1-octen-3-ol [30].

### Característiques fisicoquímiques i nutricionals de les tòfones

A més de la singular olor de les tòfones, cal destacar la seva composició fisicoquímica i el valor nutricional que se'n deriva. La qualitat i quantitat d'aquests paràmetres varia segons l'espècie de *Tuber* de què es tracti, del seu estat de maduració, de l'àrea geogràfica de procedència, de les pràctiques culturals que s'apliquin, de les condicions edàfiques i de les meteorològiques. El component majoritari de les tòfones és l'aigua (pot arribar a ser de l'ordre d'un 50–75% en pes fresc). En la *T. melanosporum* els nutrients més abundants són els carbohidrats i les proteïnes [41]; seguits per la melanina, les sals minerals, els àcids grassos i els esterols, la fibra dietètica i els aminoàcids essencials (metionina, cisteïna, fenilalanina, valina, serina, isoleucina i treonina). Entre els àcids grassos (FA, *fatty acid*) destaquen dos àcids insaturats (UFA, *unsaturated fatty acid*), l'oleic i el linoleic. També contenen àcid ascòrbic i alguns monosacàrids [42, 43]. L'àcid linoleic és un FA essencial que actua com a precursor de l'1-octen-3-ol. És conegut que l'àcid oleic té propietats per a reduir els nivells de colesterol, de manera que pot prevenir riscos cardiovasculars i també inhibir la progressió del càncer. Per aquests motius, les tòfones es poden considerar com un aliment potencialment nutricional i medicinal, el que s'anomena un *nutricèutic* o *aliment funcional* [34].

Les sals minerals són constituents essencials en la dieta humana donat que participen en nombroses reaccions metabòliques. Els elements que predominen en les sals de les tòfones són: K, P, S, Fe, Cu, Zn, Ca i Mg. A continuació (vegeu la taula 2) es resumeixen les funcions principals dels esmentats elements en l'organisme humà.

**TAULA 2.** Elements minerals essencials de les tòfones i les seves funcions principals en l'organisme humà. Elaboració pròpia basada en [44].

Element	Principals funcions en l'organisme humà
K	Equilibri àcid-base. Regulació del contingut d'aigua de la cèl·lula. Funció nerviosa i excitabilitat neuromuscular.
P	Constituent de fosfolípids, ATP, ADN, ARN. Formació d'ossos i dents. Equilibri àcid-base.
S	Constituent d'aminoàcids metionina i cisteïna. Participa en sistemes enzimàtics. Formació de cartil·lages i tendons.
Fe	Constituent de l'hemoglobina i la mioglobina. Participa en sistemes enzimàtics que intervenen en el bescanvi energètic.
Cu	Constituent d'enzims associats al metabolisme del ferro.
Zn	Constituent dels enzims implicats en la digestió.
Ca	Formació d'ossos i dents. Coagulació de la sang. Transmissió nerviosa.
Mg	Activador enzimàtic. Intervé en la síntesi proteica. Formació d'ossos.

Així doncs, es reforça el fet de considerar les tòfones com un producte de bona qualitat, tant en el sentit de la diversitat com en la quantitat dels compostos nutricionals valuosos que contenen, com són les proteïnes, la fibra i els minerals.

### *Compostos bioactius i activitats biològiques de les tòfones*

Les tòfones són riques en compostos bioactius, com ara àcid ascòrbic, ergosterol, fitosterol, derivats fenòlics, flavonoides, terpenoides i polisacàrids [43, 45, 46]. En particular, les tòfones contenen abundants flavonoides, els quals són molt apreciats com a metabòlits secundaris de productes naturals, donat que presenten propietats biològiques diverses com a antioxidants, antiinflamatoris, antimutagènics i anticancerosos. Els bolets, fruits dels fongs que creixen en el sotabosc, no poden fer les reaccions biosintètiques de les tòfones, i per això no contenen aquests preuats metabòlits [47, 48].

A la taula 3 es resumeixen les activitats biològiques dels compostos bioactius de les tòfones segons la informació del recent treball recopilatori de Lee (2020) [43]. Es consideren els usos potencials d'aquests compostos tant des del punt de vista nutricional com en el camp de la medicina. En aquest punt és on actualment s'està investigant per establir de forma segura l'aplicabilitat potencial d'aquests components bioactius.

### *Usos de les tòfones*

A bastament s'ha anat esmentant que l'alt valor culinari de les tòfones és degut a la seva olor; per això, han estat emprades com a espècies en alta gastronomia o com a guarnició i en cap cas no han esdevingut un aliment principal.

D'altra banda, donada la seva vida útil tan curta, han sorgit estratègies casolanes per a capturar-ne l'aroma. Els compostos orgànics volàtils, responsables de la seva olor, són altament absorbibles en greixos; és per això que les preparacions més habituals en restauració són preparar mantega amb tòfona i olis amb tòfona macerada. En la segona part del present article, s'exposarà àmpliament l'estudi comparatiu d'uns olis comercials amb tòfona, per tal de comprovar-ne l'autenticitat.

Si bé a la restauració darrerament s'han anat presentant moltes receptes amb tòfona, l'ús d'aquest producte no s'ha promociat a les cuines domèstiques. Potser per falta d'informació sobre la naturalesa del producte, de com adquirir-lo o del seu suposat elevat cost, tot i que això no és del tot cert, ja que amb pocs grams de tòfona es pot fer una bona celebració familiar. A més, cada vegada hi haurà més producció de les plantacions de Catalunya i els preus hauran de ser més ajustats. D'altra banda, els productors mateixos promocien les seves tòfones, fan formació i promouen visites a les plantacions [49, 50], una pràctica àmpliament difosa a França. També s'organitzen fires especialitzades (Muntanyes de Prades, Centelles, entre d'altres) per a cada temporada de tòfona.

En els darrers sis anys s'han promogut des del European Mycological Institute (EMI) [51] quatre edicions del Trufforum, un esdeveniment que acull activitats en els diversos àmbits del món de la tòfona: jornades tècniques per a professionals, tallers per al públic en general, gastronomia, turisme. El Trufforum és una plataforma on es troben tofonaires, tubericultors, comercialitzadors de tòfones i elaboradors de productes amb tòfona. La tercera edició del Trufforum, realitzada totalment en línia, es va dur a terme de febrer a març del 2021, en quatre seus: Catalunya, Castella-Lleó, Aragó i Occitània, per ordre d'intervenció. Tots els materials es poden consultar al web oficial de Trufforum [52].

TAULA 3. Propietats bioactives de les tòfones i la seva potencial aplicació en medicina. Elaboració pròpia basada en [43].

Compost bioactiu	Activitat biològica i aplicacions en medicina	Tipus de tòfona			
		IND	MEL	AES	MG
Àcid ascòrbic	Antioxidant.	*			
Terpenoides ( $\beta$ -carotè i altres)	Antioxidants. Antiinflamatoris.	*			
Compostos fenòlics	Antioxidants. Antiinflamatoris. Segrestadors de radicals lliures.	*	*	*	*
Flavonoides	Antioxidants. Inhibidors de l'agregació plaquetària.	*			
Ergosterol	Antioxidant. Antiinflamatori. Antihiperlipidèmic.	*	*	*	
Fitosterol/Tocoferol	Antioxidants. Inhibidors del creixement de cèl·lules canceroses.		*	*	*
Polisacàrids ( $\beta$ -glucans)	Anticancerosos. Potencien l'activitat immunològica enfront de tumors. Comunicació cèl·lula-cèl·lula. Antiinflamatoris.		*	*	*
Àcids oleic i linoleic	Anticancerosos. Reductors de colesterol en sang.	*	*	*	*
Anandamida	Neurotransmissor. Inhibidor de proliferació de cèl·lules. Anticancerosa (mama/colorectal/pròstata).		*		
L-tirosina	Antidepressiva. Antiestrès. Precursora de neurotransmissors (catecolamines).		Tuberssp.		
Heteroglicans	Immunoestimulants. Mantenen el balanç redox. Efecte citotòxic sobre els limfòcits.		Tuberssp.		

IND = *T. indicum*; MEL = *T. melanosporum*; AES = *T. aestivum*; MG = *T. magnatum*; Tuberssp. = tòfones en general.

### Reptes de futur i estat actual de la recerca

Respecte als consumidors, caldria potenciar la difusió de la informació sobre les tòfones a la població en general. I, també, crear xarxes turístiques etnogràfiques entorn del conreu, les propietats i la comercialització de les tòfones.

Pel que fa a la recerca, estan encara oberts diferents àmbits, tals com: a) trobar tecnologies adients per a la conservació de les tòfones amb totes les seves qualitats; b) aïllar els productes bioactius, confirmar la seva activitat biològica i fer els assajos pertinents fins a arribar al compliment de la reglamentació adient per a la seva aplicabilitat segura en medicina; c) aprofundir en la millora de la tubercultura i preveure la incidència del canvi climàtic sobre la producció de tòfones i la conservació de les tofoneres silvestres.

Per acabar, i a tall de conclusió d'aquesta part, voldríem encoratjar les noves generacions de professionals de la química a engrescar-se a participar en recerques interdisciplinàries

d'aquest àmbit de la ciència, en el qual es poden trobar equips de recerca potents i brillants, tant en universitats i centres de recerca internacionals com del país.

## Caracterització d'olis comercials amb tòfona macerada o aromatitzats

### Antecedents

Els compostos orgànics volàtils, responsables de l'olor característica de les tòfones, han estat àmpliament estudiats. En primer lloc, per tal de determinar el perfil dels COV, s'ha desenvolupat una metodologia analítica adient per a la seva extracció, separació i identificació, especialment per al cas de la *T. melanosporum* i la *T. magnatum* [53-58]. S'ha consolidat la utilització de microextracció en fase sòlida de l'espai de cap (HS-SPME, *headspace solid-phase microextraction*) per a la



captació dels COV, seguida d'una cromatografia de gasos acoblada a espectrometria de masses (GC-MS, *gas chromatography - mass spectrometry*) i, en ocasions, també amb detecció olfatomètrica [59].

Un altre focus d'estudi ha estat cercar una explicació per a la biosíntesi dels COV de les tòfones. Els treballs més rellevants són els del grup de Splivallo (2011), on, a tall de recopilatori, sistematitzen els diferents treballs que tractaven d'explicar l'origen i el mecanisme de formació de cadascun dels components volàtils de l'olor de la tòfona des del punt de vista de la transformació i *ecologia química* dels greixos, proteïnes i carbohidrats, ja sigui per intervenció dels enzims de la tòfona o de la seva pròpia microbiota, i també, per la incidència de microorganismes externs, és a dir, de bacteris, fongs o llevats de l'entorn de la tòfona. Els COV derivats de sofre els expliquen com a resultat del catabolisme de l'aminoàcid L-metionina —àcid L-(2-amino-4-metiltio)butanoic—, segons es va confirmar en assajos realitzats *in vitro*, amb presència de llevats aïllats dels ascocarps de *T. melanosporum* i *T. magnatum* [11, 34, 35, 60-63]. Es considera que els COV de tipus aldehids i alcohols de cadena curta i ramificats (2-metilbutanal, 3-metilbutanal, 2-metilpropanal, 2-feniletanol) es formen a partir d'aminoàcids sense sofre, mitjançant un procés que comporta la transaminació i posterior descarboxilació del ce-tòacid, per tal d'originar els aldehids volàtils, els quals per reducció generen els corresponents alcohols [11, 64]. Del catabolisme dels àcids grassos insaturats, especialment a partir de l'àcid linoleic, es formen alcohols insaturats lineals de cadena curta (1-octen-3-ol) [34].

El fet de poder disposar de metodologies adients per tal de conèixer els diferents components del perfil de COV dels diversos tipus de tòfones ha permès poder establir uns compostos *marcadors* per a la majoria d'espècies [59, 65, 66], la qual cosa ha possibilitat poder diferenciar les tòfones per espècies i fer el seguiment de graus de maduresa o d'origen geogràfic dintre una mateixa espècie [41, 67, 68]. Pel que fa al perfil de COV de la *T. melanosporum*, en cap cas no es poden trobar uns components marcadors específics; no hi ha cap odorant que sobresurti entre els altres, ni per la seva qualitat ni per la quantitat en què hi són presents. En el cas de la *T. magnatum*, sí que hi ha un marcador específic, el bis-(metiltio)metà, també anomenat amb el seu nom comú com a 2,4-ditiapentà; aquest compost, a més, és el responsable principal de l'olor de la tòfona blanca d'Alba (Piemont), una olor de gas alliaci molt

estable. Això fa que fàcilment es puguin obtenir *aromes* d'aquesta tòfona. Però a la tòfona negra, la *T. melanosporum*, és molt difícil mimetitzar la seva olor natural perquè a banda de no trobar marcadors específics, no hi ha cap compost volàtil únic que faci olor de tòfona negra. La suma de les olors dels diversos compostos odorífers que té la *T. melanosporum* és la que genera l'extraordinària olor d'aquesta inigualable tòfona: olor d'escopinya, de terra humida, de fong. A més, alguns d'aquests components són força inestables, per la qual cosa es fa difícil d'obtenir una aroma sintètica que imiti la seva complexa aroma natural. Això fa que pràcticament tots els productes comercials en els quals s'indica en l'etiqueta «amb aroma de tòfona negra», en realitat, en provar-los, fan olor de tòfona blanca, la qual cosa genera una confusió molt gran en els consumidors i fa que, al final, no es conegui bé l'olor de la tòfona negra i es confonguin els dos productes, tot i que ambdós són totalment diferents. La tòfona negra no fa olor de gas alliaci, ja que té només traces de bis-(metiltio)metà, pràcticament indetectables. En canvi, el component majoritari i marcador característic de la *T. aestivum* és l'1-octen-3-ol, fàcilment imitable amb aromatitzants.

El control del perfil dels COV de les tòfones s'ha fet imprescindible per a: a) el desenvolupament de tecnologies de conservació —congelació, esterilització, liofilització [69-72]— per tal d'allargar-ne la vida útil, donat que el perfil de COV envelleix amb pocs dies per degradació bacteriana i processos d'oxidació, i b) el seguiment dels processos de preparació de productes derivats de les tòfones —salses, olis, formatges [73].

En concret, per al cas d'olis amb tòfona [74-77], s'han descrit diversos treballs amb la finalitat de comprovar-ne l'autenticitat. Els olis aromatitzats artificialment són més econòmics de produir que els preparats amb tòfona natural, de manera que poden comercialitzar-se a preus assequibles i tenen més difusió, tot i que cal vetllar per la seva qualitat. La legislació alimentària de la Unió Europea permet preparar productes trufats amb aromatitzants que poden procedir: a) de «fonts naturals», mitjançant extracció d'alguns components volàtils amb solvents autoritzats o emprant aquestes fonts com a precursors permesos per a l'obtenció d'aromes naturals fruit d'una reacció enzimàtica, o b) d'un «substrat simple», que partint d'un procés de biosíntesi amb participació de microorganismes, pugui arribar a generar una aroma semblant a la de la tòfona natural [78]. En els darrers cinc anys s'han descrit diversos productes naturals que podrien ser una font natural pel

que fa a l'obtenció d'aromatitzants i han aparegut a la bibliografia bons reculls sobre la caracterització d'olis aromatitzats o amb tòfona macerada [73, 79].

Les darreres directives europees de 2008 i 2011 regulen l'ús d'aromes i altres ingredients alimentaris amb propietats aromatitzants emprats en alimentació i com cal informar-ne al consumidor [80, 81]. Aquestes normatives estableixen que en les etiquetes dels productes preparats amb tòfona hi ha de constar la llista d'ingredients, sense enganyar ni confondre el consumidor. D'altra banda, els aromatitzants addicionats, en cas que s'utilitzin, cal que siguin saludables per al consum humà.

A continuació s'exposa l'estudi de la composició de la fracció volàtil de sis mostres comercials d'olis aromatitzats o amb tòfona macerada que es va dur a terme per tal de comprovar l'autenticitat dels olis i la seva concordança amb el que es descrivia en les etiquetes. El treball fou realitzat emprant una anàlisi química instrumental —HS-SPME combinada amb GC-MS— i una anàlisi sensorial amb un panell de tastadors entrenats.

## Metodologia analítica

### Descripció de les mostres

Es van analitzar dues mostres de tòfona negra, *T. melanosporum*, en un grau òptim de maduració, comprades al mercat local, per tal de tenir-les com a referència genèrica del perfil dels seus COV. Es van avaluar sis mostres d'olis vegetals aro-

matitzats o amb tòfona macerada procedents de diferent origen geogràfic (vegeu la taula 4). Les mostres es van comprar en mercats espanyols i catalans (S1, S2, S3), italians (I1, I2) i francesos (F1), entre agost i novembre de 2013. Totes les mostres estaven etiquetades com a olis aromatitzats, excepte S1, S2 i S3, que eren mescla d'olis aromatitzats i amb tòfona natural macerada. Simultàniament, es va preparar al laboratori una mostra experimental (ES, *experimental sample*) amb tòfona *T. melanosporum* infusióada en oli d'oliva verge extra per tal de tenir una referència d'autenticitat.

### Preparació de les mostres

Totes les extraccions es van fer posant 2 g de mostra en vials d'SPME de vidre de 20 mL, tancats amb septes de PTFE/silicona i taps roscats. Les mostres de tòfona fresca es van ratllar dins del vial.

Les mostres d'oli es van posar directament dins del vial sense cap preparació addicional. Es van analitzar abans de 48 h, un cop oberta cada ampolla.

La mostra ES d'oli aromatitzat amb tòfona, preparada al laboratori per nosaltres com a control positiu d'autenticitat, es va obtenir ratllant 5 g de tòfona negra fresca *T. melanosporum* en un grau òptim de maduració dins d'un recipient de vidre, afegint-hi 250 mL d'oli d'oliva arbequina verge extra i deixant-ho dues setmanes a temperatura ambient i amb absència de llum, amb agitació ocasional. Totes les mostres es van conservar a 4 °C.

TAULA 4. Descripció de les mostres d'olis comercials aromatitzats o amb tòfona macerada. Elaboració pròpia [75].

Samples code	Samples description	Ingredients
S1	Spanish oil (Aceite de trufa: COLL, Barcelona-Spain)	Olive oil, truffle flavour
S2	Spanish oil (Aceite con aroma de trufa <i>Tuber melanosporum</i> : LAUMONT, Lérida-Spain)	Extra virgin olive oil, <i>T. melanosporum</i> truffles flavour
S3	Spanish oil (Aceite de oliva verge extra a la trufa negra: TRUFAPASIÓN, Huesca-Spain)	Extra virgin olive oil (varieties: Verdeña, Alquezrana and Negral), macerated with black truffle ( <i>T. melanosporum</i> Vitt)
I1	Italian oil (Black truffle aromatized dressing "Il Tartufato": INANDI CLEMENTE & C. SRL, Borgo S. Dalmazzo-Italy)	Olive oil, truffle extract ( <i>T. melanosporum</i> ), flavourings, truffles ( <i>T. aestivum</i> ) 0,3%
I2	Italian oil (White truffle aromatized dressing "Il Tartufato": INANDI CLEMENTE & C. SRL, Borgo S. Dalmazzo-Italy)	Olive oil, white truffle extract ( <i>T. magnatum</i> ), flavourings, truffles ( <i>T. albidum</i> ) 0,3%
F1	French oil (Black truffle aromatised oil: LA TRUFFLE SARLADAISE, Vézac-France)	Olive oil, black truffle flavour
ES	Experimental sample: spanish oil infused with <i>T. melanosporum</i>	Extra virgin olive oil, <i>T. melanosporum</i> truffles

## Anàlisi cromatogràfica

### Extracció de les mostres

Les mostres es van extreure per microextracció en fase sòlida de la fracció de volàtils de l'espai de cap (HS-SPME) fent servir un injector automàtic MPS2 de Gerstel i una triple fibra d'SPME de 50/30 µm, de divinilbenzè, carboxen, polidimetilsiloxà (DVB-CAR-PDMS) de Supelco.

Les mostres de tòfona fresca es van incubar a 50 °C durant cinc minuts i es van extreure a 50 °C durant deu minuts.

Per a les mostres d'oli no es va fer servir incubació. Únicament es va fer extracció directa durant trenta minuts, just a 50 °C per a evitar-ne l'oxidació.

Es van preparar i analitzar en tots els casos dues alíquotes idèntiques [77].

### Condicions cromatogràfiques

L'equip emprat va ser un cromatògraf de gasos Agilent 6890 amb un detector selectiu de masses MSD5973. Es van fer servir dues columnes capil·lars de sílice fosa amb fases estacionàries de diferent polaritat: una fase polar Zebron ZB-WAX Plus (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm) i una fase apolar Zebron ZB-1 (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm), ambdues de Phenomenex. Els volàtils extrets amb la fibra d'SPME es van desorbir directament a l'injector del cromatògraf durant deu minuts a 250 °C en modalitat sense divisió de flux (*splitless*), amb obertura de la vàlvula al cap de 2 minuts, aplicant un flux de 80 mL/min. L'injector contenia una camisa d'injecció de vidre de 0,75 mm de diàmetre intern per tal d'evitar la deformació dels pics d'elevada volatilitat. El programa de temperatura del forn va ser des de 60 °C, sense temps inicial, fins a 230 °C, a 4 °C/min, amb 20 minuts finals. Es va emprar heli com a gas portador a un flux d'1,2 mL/min.

### Condicions de l'espectròmetre de masses

L'espectròmetre de masses va treballar amb una energia d'impacte electrònic de 70 eV. La temperatura del quadrupol es va situar a 150 °C; la temperatura de la font de ions, a 230 °C, i la temperatura de la interfície GC-MS, a 250 °C. El rang de masses emprat va ser de 35 a 300 uma.

Per a identificar els espectres de masses dels components volàtils es van fer servir les bases de dades Wiley, NIST 08 i la biblioteca particular del laboratori.

Els índexs de retenció es van comparar amb els de patrons reals.

## Anàlisi sensorial

En l'avaluació organolèptica dels components volàtils dels olis aromatitzats hi van participar tretze tastadors entrenats (set dones i sis homes d'entre vint-i-cinc i seixanta-cinc anys, habituals en aquests tipus d'anàlisi). Inicialment, d'acord amb les dades obtingudes en el perfil dels components odorífers dels COV detectats en l'anàlisi per GC-MS de les mostres de tòfona *T. melanosporum* fresca, es van establir els descriptors o terminologia sensorial per tal d'assignar les sensacions percebudes en l'olor de la tòfona negra fresca. Després, els tastadors van ser entrenats en la identificació dels descriptors i en l'ús d'escales contínues per tal de valorar quantitativament la intensitat de cada descriptor [82, 83]. Finalment, el panell de tast va avaluar les mostres d'oli comercials amb tòfona macedonada o amb aromatitzants afegits, per tal d'obtenir el perfil aromàtic de cada mostra. Totes les mostres van ser analitzades per duplicat per cada tastador, que va avaluar lliurement la intensitat d'olor percebuda per a cadascun dels descriptors fent una ratlla vertical sobre una línia horitzontal no estructurada de 10 cm, en l'origen esquerre de la qual s'indicava 0, «no es percep olor», i en l'extrem dret de la qual hi havia un 10, que corresponia a «olor molt intensa».

Pel que fa al tractament de dades del panell, es va utilitzar el programari PanelCheck. A les dades obtingudes per a cada atribut sensorial se'ls va aplicar una anàlisi de la variància (ANOVA) de dos factors (mostra i tastadors) amb interacció. Per a cada atribut, per tal d'estudiar la significança de l'efecte de la mostra, es va emprar un model mixt de l'ANOVA que considerava els tastadors com a factor aleatori i les mostres com a factor fix. Per a avaluar les diferències organolèptiques entre les mostres d'olis tenint en compte tots els descriptors o atributs sensorials, es va dur a terme una anàlisi de components principals (ACP). Per a establir les diferències entre els COV de les mostres d'oli, es va aplicar l'anàlisi de l'ANOVA d'un factor. Es va utilitzar el test de Turkey's ( $\alpha \leq 0,05$ ) per a establir les diferències significatives entre les mitjanes.

# Discussió de resultats

## Anàlisi cromatogràfica

Els cromatogrames del perfil dels COV obtinguts en la *T. melanosporum* fresca (a), en la mostra experimental amb tòfona macerada en oli d'oliva arbequina verge extra (b, ES) i en dues mostres dels olis comercials analitzats (c, S1 i d, S3), corresponen a l'anàlisi realitzada emprant la columna de fase polar Zebron ZB-WAX Plus descrita (vegeu la figura 4). Per a totes les mostres es va realitzar doble comprovació utilitzant la columna amb fase apolar Zebron ZB-1, abans esmentada, per tal de confirmar la separació de productes que haguessin pogut coeluir en la columna polar. En general, cal tenir en compte que, en els olis amb tòfona macerada, els components més minoritaris dels COV de la tòfona fresca quedaran molt diluïts i no seran detectables.

Es van identificar 107 COV en les mostres de tòfona negra fresca. Es va analitzar també la fracció volàtil de l'oli d'oliva de la varietat arbequina utilitzat en la preparació de la mostra d'oli experimental amb tòfona macerada (ES) per tal de considerar quins components del perfil de COV provenien directament de l'oli o d'algunes de les seves alteracions. Els components majoritaris detectats van ser: propanona, hexanal, hexanol i (E)-hexen-1-ol. En la mostra ES únicament es van identificar 43 dels COV característics de la tòfona fresca; entre aquests, el sulfur de dimetil i alguns alcohols (isobutanol, 2-metil-1-butanol, 2-butanol, 2-pentanol, 2,3-butandiol, 2-metiltoetanol i 3-metilpropanol). Aquests últims es troben en més quantitat en la mostra autèntica amb tòfona macerada, ES, que en les mostres comercials on es fa constar que són mostres aromatitzades. En la mostra macerada experimental, ES, es detecta una gran quantitat d'etanol, que podria atribuir-se a processos de fermentació de la tòfona en l'oli a temperatura ambient; és per això que aquest compost no es

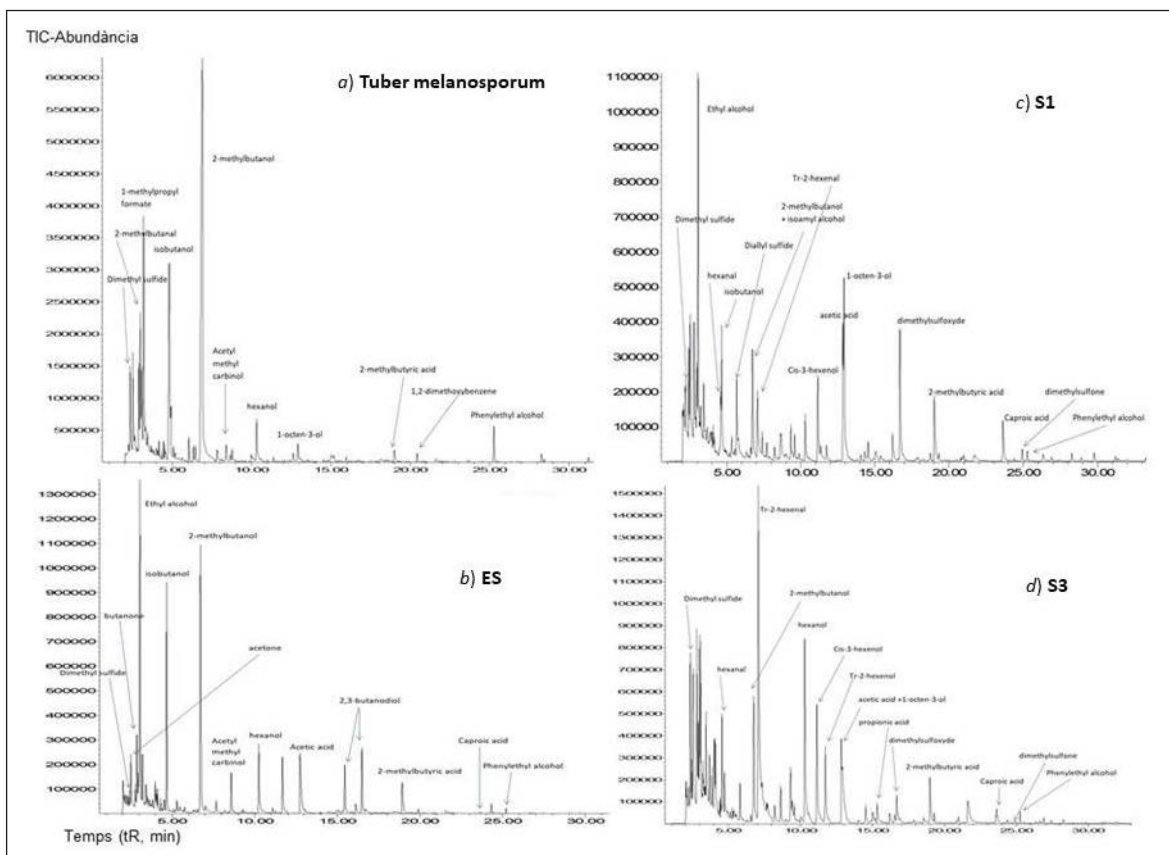


FIGURA 4. Compostos orgànics volàtils més significatius identificats en *Tuber melanosporum* i en mostres d'oli amb *T. melanosporum* macerada, obtinguts per HS-SPME/GC-MS, emprant fibra de DVB-CAR-PDMS per a la microextracció dels volàtils i columna cromatogràfica de fase polar Zebron ZB-WAX Plus (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). Mostres: a) *T. melanosporum* fresca; b) ES, mostra d'oli experimental amb tòfona macerada; c) S1, mostra del mercat nacional etiquetada com a «oli de tòfona»; d) S3, mostra del mercat nacional etiquetada com a «oli d'oliva verge extra (OOVE) a la tòfona negra». Elaboració pròpia.

considera un marcador adient, tot i que és present també com a majoritari en el perfil de COV de la mostra comercial S1 del mercat nacional, la qual cosa fa pensar que podria estar preparada amb el mateix tipus d'oli i que s'hauria donat el mateix tipus de transformació. El cromatograma c, corresponent a la mostra S1 —etiquetada com a «oli de tòfona» i que indica entre els seus ingredients «aroma de tòfona»—, presenta d'una banda un perfil similar al cromatograma b de la mostra experimental ES, però s'hi detecten també uns components en concentracions més elevades i aliens al perfil de COV en a, de la *T. melanosporum* fresca, tals com sulfur de dial·lil, dimetil-sulfòxid (DMSO), àcid acètic i 1-octen-3-ol; tots ells podrien provenir d'aromes naturals [2]. L'àcid acètic i l'1-octen-3-ol són presents en el perfil de COV de la *T. aestivum*, o tòfona blanca d'estiu, i l'alcohol és el component majoritari que s'utilitza com a marcador dels COV de la tòfona d'estiu [59]. El sulfur de dial·lil i el DMSO potencien l'aroma de gas alliaci. Segons Culleré (2013), el DMSO es troba en molt poca quantitat (0,33%) en els COV de la *T. melanosporum*, però no està gens descrit per a cap altra tipus de tòfona [2, 69]. Si bé es pot considerar que el DMSO es forma per oxidació del sulfur de dimetil [84], la quantitat d'aquest compost present en la mostra S1 i la seva proporció relativa respecte a l'1-octen-3-ol fa pensar que S1 ha estat aromatitzada amb extractes naturals —no necessàriament a base de tòfona— on el DMSO s'utilitza com a extractant, per la seva qualitat de solvent polar apròtic, capaç de solubilitzar compostos polars i apolars; a més, el DMSO afavoreix la miscibilitat de l'extracte en l'oli [79, 85]. Es confirma, doncs, que la mostra S1 és un oli aromatitzat per tal de reforçar els COV de la *T. melanosporum* macerada en oli.

Com es pot veure en el cromatograma d de la mostra S3 —etiquetada com a «oli d'oliva verge extra (OOVE) a la tòfona negra» i que indica entre els seus ingredients «tòfona negra, *T. melanosporum*, macerada en OOVE»—, el seu perfil s'ajusta als components més significatius de la mostra experimental, ES, preparada al laboratori. En aquesta mostra predominen els COV de l'oli d'oliva emprat, tals com: hexanal, hexanol, isòmers (*E*, *Z*) no diferenciats de 2-hexenal, 3-hexen-1-ol i 2-hexen-1-ol; la seva formació prové del metabolisme dels lípids, en especial dels àcids grassos insaturats. La diferència entre el perfil de volàtils generats per l'oli pot atribuir-se a les varietats d'oliva emprades en l'oli de procedència com és el cas d'arbequina en la mostra experimental, ES, i la barreja de verdenya, alquezzrana i negral en la mostra S3, segons s'indica en l'etiqueta (vegeu la taula 4). Comparant els cromatogra-

mes de la mostra experimental ES i de la S3 s'observa que la proporció relativa entre el sulfur de dimetil i el 2-metilbutanol és considerablement diferent en ambdues; en l'oli comercial S3 la concentració de 2-metilbutanol hauria de ser més gran. Això podria atribuir-se a dues raons: a) que la causa de la diferència entre la quantitat d'aquests components en el perfil de COV provingués de la tòfona emprada en la maceració, ja sigui pel seu grau de maduresa, per l'origen geogràfic o per qualsevol altre factor que pugui influenciar en la qualitat de l'olor de la tòfona, malgrat ser de la mateixa espècie [34, 59]; b) que l'oli amb tòfona *T. melanosporum* macerada s'hagués potenciat amb aromatitzants naturals rics en sulfur de dimetil; això ho fa pensar la presència de dimetilsulfòxid i dimetil sulfona en d, S3, ja que, com s'esmentava anteriorment, el DMSO s'utilitza com a solvent en processos d'extracció de productes naturals [79, 85]. Cal destacar l'aparició d'àcid caproic (àcid hexanoic) en els olis comercials S1 i S3, el qual no és present ni en el perfil de COV de la *T. melanosporum* fresca ni en la mostra experimental ES preparada al laboratori simultàniament en fer l'estudi; aquest àcid podria ser un indicador de l'envelliment de l'oli per oxidació i enranciment. Amb les dades que tenim a disposició no es pot afirmar aquest supòsit, tot i que caldrà tenir-lo en compte a l'hora de comprar i considerar la vida útil d'un oli comercial «amb tòfona macerada» o «aromatitzat».

A la figura 5 es presenten els cromatogrames de les mostres d'olis comercials aromatitzats (vegeu la taula 4), ja sigui amb extracte de tòfona o simplement amb odorants mimètics als COV de les diferents espècies de tòfona que s'hi esmenten. Una primera visió general posa de manifest que en els cromatogrames e, f i g, corresponents a les mostres d'olis I1, S2 i I2 respectivament, el component majoritari és el 2,4-ditia-pentà —en endavant, per a anomenar-lo s'utilitzarà la denominació de la IUPAC *bis(metiltio)metà*—; aquest també és el component volàtil majoritari i el marcador identificador de la *T. magnatum* i, alhora, és el compost més típic en les aromes de tòfona emprades en la indústria alimentària [34, 74]. Al llarg de l'última dècada s'han descrit diversos productes naturals que podrien ser una font d'obtenció d'aromatitzants mimètics dels COV de les tòfonas [78, 79]. En les mostres I1, S2 i I2 també hi és present el (metilsulfinil)(metiltio)metà, producte d'oxidació del bis(metiltio)metà, descrit en la literatura [67] i temptativament identificat per MS. En el nostre cas tenim pendent la confirmació del seu índex de retenció. D'altra banda, en els cromatogrames e, f i h, corresponents a

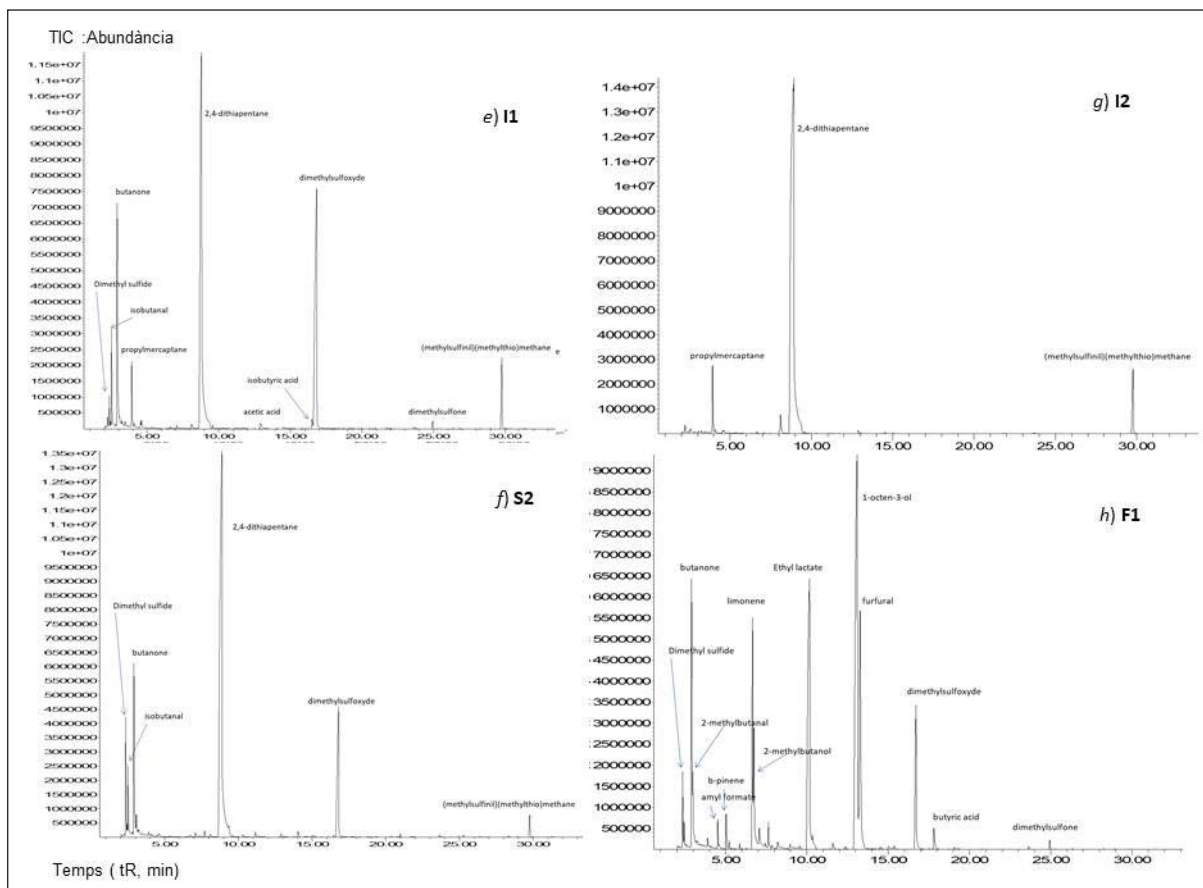


FIGURA 5. Compostos orgànics volàtils més significatius identificats en les mostres d'olis comercials amb extracte de tòfona o aromatitzats, obtinguts per HS-SPME/GC-MS, emprant fibra de DVB-CAR-PDMS per a la microextracció dels volàtils i columna cromatogràfica de fase polar Zebron ZB-WAX Plus (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). Mostres: e) I1, mostra del mercat italià preparada amb extracte de *T. melanosporum* i aromatitzant de *T. aestivum*; f) S2, mostra d'oli del mercat nacional preparada amb aromatitzants de *T. melanosporum*; g) I2, mostra del mercat italià etiquetada com a «oli d'oliva amb extracte de *T. magnatum* i aromatitzants de *T. borchiu*»; h) F1, mostra del mercat francès etiquetada com a «oli d'oliva amb aroma de tòfona negra». Per al compost 2,4-ditiapentà (nom clàssic), en endavant s'utilitzarà de denominació de la IUPAC *bis(metiltio)metà*. Elaboració pròpia.

les mostres d'olis I1, S2 i F1 respectivament, apareix el DMSO i en I1 i F1 també la dimetilsulfona (metilsulfonimetà); això fa pensar que, en aquestes mostres, l'oli ha estat aromatitzat amb odorants naturals extrets amb aquest dissolvent, com s'ha esmentat anteriorment en els casos de les mostres S1 i S3. La mostra F1 és l'única que no té 2,4-ditiapentà –bis(metiltio)metà– i presenta 1-octen-3-ol com a component majoritari; cal recordar que aquest compost és el que es considera el marcador per al perfil de COV de la *T. aestivum*. En aquestes tres mostres, I1, S2 i F1, hi són presents el sulfur de dimetil, butanona, 3-metilbutanal, 2-metilbutanal; això faria pensar que contenen alguns components volàtils característics de la *T. melanosporum*, la qual cosa coincideix amb resultats descrits per Torregiani (2017) [73] per a mostres d'olis aromatitzats amb odorants naturals o artificials de diverses tòfones.

Si es considera la descripció de l'etiqueta de cada mostra d'oli (vegeu la taula 4), es troba que en I1 s'indica que va ser preparada amb extracte de *T. melanosporum* i amb un 0,3% d'aromatitzant de tòfona *T. aestivum*. No obstant, com s'ha esmentat abans, el component majoritari és el bis(metiltio)metà, marcador específic per a la *T. magnatum*, i no presenta 1-octen-3-ol, que és el marcador específic i majoritari per a la *T. aestivum*. Hi ha, doncs, una incongruència entre la informació de l'etiqueta i els resultats obtinguts. L'etiqueta de la mostra S2 indica que l'oli es va preparar amb aromatitzants de *T. melanosporum*; això concorda amb el que apareix en el cromatograma f) ja esmentat anteriorment, però és sorprenent que el component majoritari sigui també el bis(metiltio)metà, resultat similar al de Torregiani [73] per a olis amb *T. melanosporum* etiquetats com a olis artificials de tòfona. En el cromatograma g) de la mostra d'oli I2, etiquetada com a oli d'oliva amb

extracte de *T. magnatum* i aromatitzants (0,3%) de *T. albidum* (*T. borchii*), hi destaca únicament el bis(metil)metà, i amb quantitat molt inferior el (metilsulfinil)(metil)metà; no s'hi detecten els components característics de la *T. borchii*, si bé s'hi ha identificat propilmercaptà (1-propantiol), no descrit en els perfils de volàtils en *T. magnatum* i *T. borchii* que s'esmenten en el treball recopilatori de Mustafa de 2020 [2]. Aquest compost també s'ha identificat en cebes, patates i begudes alcohòliques [86–88]. L'1-propantiol també és present en la mostra d'oli I1, que a la vegada conté gran quantitat de DMSO, el qual, com s'ha esmentat anteriorment, és permès d'utilitzar com a dissolvent per a l'extracció de productes d'origen natural. Això confirmaria l'ús de components volàtils d'origen natural (però no de tòfona) entre els odorants d'olis de tòfona.

En la mostra I2 cal destacar, d'una banda, que el cromatograma *g* és molt més simple que el perfil de COV descrit en la bibliografia per a la *T. magnatum* i també per als seus corresponents productes derivats —ja siguin olis aromatitzats o amb tòfona natural— [34, 73, 89] i, de l'altra, que en l'esmentat cromatograma no hi apareix DMSO, característic dels extractes d'odorants naturals; ambdós motius fan pensar que l'aroma d'aquesta mostra s'hauria potenciat amb compostos sintètics o biosintètics [78].

En el cromatograma *h*, corresponent a la mostra d'oli F1, etiquetada com a «oli d'oliva amb aroma de tòfona negra», hi ha presents, com s'ha esmentat abans, alguns dels components volàtils de la *T. melanosporum*, però hi destaca amb més quantitat l'1-octen-3-ol, característic de la *T. aestivum*, i, en quantitats inferiors, diversos terpenoides (limonè i  $\beta$ -pinè) també presents en olis preparats amb tòfona natural macerada o aromatitzats [73].

Els resultats obtinguts en el present treball concorden amb els observats en la bibliografia respecte als diferents tipus d'aromatitzants emprats en olis de tòfona i posen en dubte la fiabilitat i autenticitat del producte respecte al que s'anuncia en l'etiqueta. El DMSO i la dimetil sulfona són components que no apareixen en les tòfonas de forma natural. Segons afirma Paccioni [74], ambdós compostos podrien ser considerats com a marcadors d'olis comercials, tot i que no són presents en tots ells.

Per tal que els consumidors vagin més orientats, la informació de les etiquetes d'olis comercials amb tòfona haurien de se-

guir estrictament les recomanacions de la legislació de l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) per a l'etiquetatge de productes alimentaris (número 1334/2008 de la Unió Europea), on es diferencien tres categories d'aroma: a) «aroma de tòfona» o «substàncies aromatitzants» per a referir-se a la utilització d'aromatitzants sintètics; b) «aroma natural» o «substàncies aromatitzants naturals» per a indicar l'ús de components naturals que no provenen de tòfonas, i c) «aroma natural de tòfona» quan els aromatitzants provenen com a mínim d'un 95% de tòfona. En un futur caldria oferir més informació al consumidor. I, també, difondre la preparació casolana de l'oli per maceració de la tòfona de temporada, filtració i consum immediat en un marge d'uns quinze dies.

### Anàlisi sensorial

El panell de tretze tastadors entrenats va avaluar la intensitat dels atributs d'olor de les set mostres d'olis. Es van trobar onze atributs d'olor tals com: fong, fermentat, escopinya, terra humida, ranci, avellana crua, fecal, col bullida, gas alliaci, patata bullida i garrofa, per a descriure el perfil organolèptic dels olis amb tòfona o aromatitzats estudiats. Aquests descriptors corresponen a alguns dels COV amb característiques odoríferes detectats per olfactometria entre els identificats per GC-MS en la *T. melanosporum* fresca o en la mostra d'oli experimental ES, i concorden amb els descrits en la bibliografia [59, 73].

Els resultats per a un model mixt d'ANOVA mostren diferències significatives ( $\alpha = 0,05$ ) entre mostres per a tots els atributs, fins i tot en aquelles (fecal, gas alliaci, patata bullida) en que l'efecte de la interacció entre tastador i mostra ha estat significatiu. Per a cada mostra d'oli s'han obtingut les mitjanes dels valors d'intensitat percebuda per cada tastador i per a cada atribut. A la figura 6 es presenten les gràfiques amb el perfil sensorial de cadascuna de les mostres.

A les mostres d'oli amb tòfona macerada (S1 i S3) la intensitat d'olor és més baixa per a cada atribut respecte a la mostra experimental (ES), però és equilibrada entre els diferents descriptors. En canvi, en el perfil organolèptic de les mostres d'oli en les quals s'indicava que havien estat aromatitzades amb tòfona (I1, I2, S2 i F1) hi destaquen amb més intensitat alguns descriptors, tals com: fong, escopinya, col bullida i gas alliaci, atribuïbles a l'1-octen-3-ol, al sulfur de dimetil, al disul-

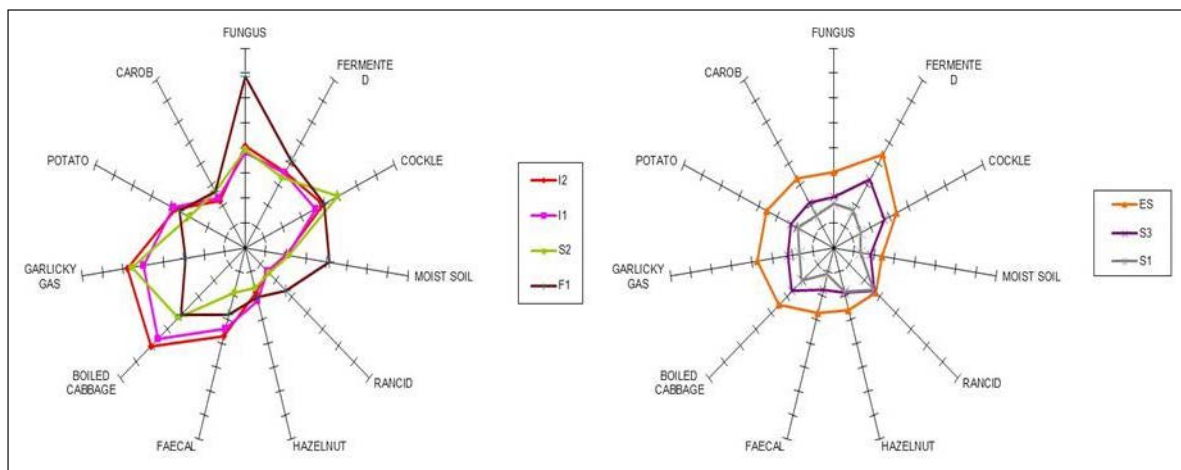


FIGURA 6. Perfil de l'anàlisi sensorial de les diferents mostres d'oli amb tòfona o aromatitzades. Mitjanes dels valors d'intensitat percebuda per a cada atribut. Elaboració pròpia, reproduït de [76].

fur de dimetil i al bis(metiltilio)metà, respectivament. Aquests resultats concorden amb els obtinguts en l'anàlisi cromatogràfica per a les mostres I1, I2 i F1.

L'anàlisi de components principals de les dades (ACP), representada en la figura 7, mostra que les dues dimensions expressen el 85,2% de la variabilitat en l'olor dels diferents olis comercials amb tòfona o aromatitzats estudiats. La primera dimensió separa clarament a la part dreta les mostres d'oli amb tòfona natural macerada (ES, S3 i S1) i al costat esquerre les mostres d'oli aromatitzades amb odorants de tòfona. La segona dimensió separa a la part superior les mostres d'oli aromatitzades (S2, I1 i I2) amb olors més intenses de gas al-

liaci i de col bullida, mentre que a la part inferior hi destaca la mostra d'oli F1 amb olor de fong i terra humida com a més predominants.

Aquests resultats concorden amb les dades obtingudes en l'anàlisi per GC-MS, com s'ha esmentat en la discussió dels cromatogrames de la figura 5, en què per a les mostres S2, I1 i I2 predomina el bis(metiltilio)metà, que correspon al component odorífer al qual s'assigna l'atribut de gas alliaci, i destaca l'1-octen-3-ol en la mostra F1, que té com a descriptor l'olor de fong o xampinyó.

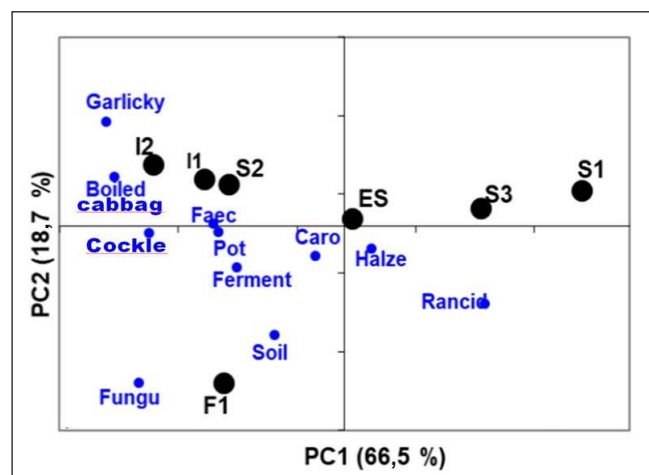


FIGURA 7. Representació de l'anàlisi de components principals (ACP) dels atributs sensorials dels olis aromatitzats (I1, I2, F1, S2) o amb tòfona macerada (ES, S1, S3). Elaboració pròpia, reproduït de [76].

## Conclusions

Hi ha una àmplia varietat d'olis anomenats «olis amb tòfona» que es poden trobar en botigues especialitzades o que es poden obtenir directament dels productors. Molts d'aquests olis estan preparats amb un o diversos productes químics sintètics dels que són presents en el perfil de compostos volàtils causants de l'olor autèntica de la tòfona. Altres olis estan aromatitzats amb extractes d'altres productes naturals que contenen components volàtils afins a les tòfones. N'hi ha pocs que estiguin realment preparats a base de tòfona macerada.

Les tècniques analítiques cromatogràfiques GC-MS i l'anàlisi sensorial han mostrat ser eines molt útils per a la diferenciació entre mostres d'oli preparades amb maceració de tòfona *T. melanosporum* natural i mostres d'oli aromatitzades artificialment. Els resultats obtinguts en el present treball concor-



den amb els observats en la bibliografia respecte als diferents tipus d'aromatitzants emprats en olis de tòfona i posen en dubte la fiabilitat i autenticitat del producte respecte al que s'anuncia en l'etiqueta.

La informació de les etiquetes d'olis comercials amb tòfona haurien de seguir estrictament les recomanacions de la legislació de l'EFSa per a l'etiquetatge de productes alimentaris. Per tal que els consumidors vagin més orientats, és necessari més rigor en l'etiquetatge. En l'actualitat, en molts casos, les descripcions de les etiquetes no concorden amb els resultats que es detecten per GC-MS o per mitjà d'una anàlisi sensorial. En un futur, doncs, caldria oferir més informació al consumidor i, també, difondre la preparació casolana de l'oli per maceració de la tòfona de temporada, filtració i consum immediat en un marge d'uns quinze dies.

Cal destacar alguns reptes de futur entorn de la cultura i de l'ampliació de coneixements sobre les tòfones. Respecte als consumidors, caldria potenciar la difusió de la informació sobre les tòfones a la població en general. I, també, crear xarxes turístiques etnogràfiques entorn del conreu, les propietats i la comercialització de les tòfones. Pel que fa a la recerca, encara estan oberts diferents àmbits, tals com: trobar tecnologies adients per a la conservació de les tòfones amb totes les seves qualitats; aïllar els productes bioactius, confirmar la seva activitat biològica, fer els assajos pertinents fins a arribar al compliment de la reglamentació adient per a la seva aplicabilitat segura en medicina; aprofundir en la millora de la tubercultura i preveure la incidència del canvi climàtic sobre la producció de tòfones i la conservació de les tofoneres silvestres. És per això que voldríem encoratjar les noves generacions de professionals de la química i de la ciència i tecnologia dels aliments a engrescar-se a formar part dels equips interdisciplinaris de recerca —potents i brillants— d'aquest àmbit de la ciència, que es poden trobar en universitats i centres de recerca, tant internacionals com del país.

## Agraïments

Volem mostrar el nostre agraïment:

— a Lluís Montoliu i al doctor Carlos Colinas per la cessió de les imatges de la figura 2a i les de les figures 2b, 2c i 3, respectivament.

— als col·laboradors del grup de recerca de la UVic-UCC Albert Hueso, Núria Barniol, Alba Crespi, Guillem Ylla, que han participat en les jornades de divulgació de la cultura de la tòfona.

— als membres del panell de tast (UVic-UCC, IATA i Lucta, SA).  
— a Conservas Coll, SL, per l'aportació de mostres de tòfona.

## Referències i altres fonts

- [1] REYNA, S. «Historia y perspectivas de la truficultura». A: REYNA, S. (coord.). *Truficultura: Fundamentos y técnicas*. Madrid: Mundi-Prensa, 2011, p. 26-44.
- [2] MUSTAFA, A. M.; ANGELONI, S.; KAMGANG, F.; ABOULENEIN, D.; SAGRATINI, G.; CAPRIOLI, G.; TORREGIANI, E. «An overview on truffle aroma and main volatile compounds». *Molecules* [en línia], 25 (24) (2020), article 5948. <<https://doi.org/10.3390/molecules25245948>>.
- [3] REYNA, S. *Trufa, truficultura y selvicultura trufera*. Madrid: Mundi-Prensa, 2000.
- [4] TOUSSAINT-SAMAT, M. *A history of food*. Hoboken, NY: John Wiley & Sons, 2009.
- [5] PASSOLA-PALMADA, J. M. *Memorial Puigrubí, 1651-1689: El comerç a Osona en les cartes del mercader Josep Puigrubí*. Vic: Arxiu Comarcal d'Osona: Consell Comarcal d'Osona, 2016.
- [6] JUVANTENY, B. «Primeres referències històriques documentades del comerç de les tòfones a Osona». Ponència a la III Jornada de Divulgació del Conreu i les Característiques de la Tòfona, celebrada a la UVic-UCC el 8 de març de 2014.
- [7] GEOFFROY, C. J. «Observation sur la végétation des truffes». A: *Mémoires de mathématique et de physique de l'Académie royale des sciences* [en línia]. París: Académie Royale des Sciences, 1711, p. 23-35. [ads-00121249] <<https://hal.archives-ouvertes.fr/ads-00121249/document>> [Consulta: 9 setembre 2022].
- [8] COLINAS, C.; CAPDEVILA, J. M.; OLIACH, D.; FISCHER, C. R.; BONET, J. A. *Mapa d'aptitud per al cultiu de la tòfona negra (Tuber melanosporum Vitt.) a Catalunya*. Solsona: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, 2007.
- [9] OLIACH, D. «L'associacionisme com a via de desenvolupament de nous cultius en el món rural: el cas de la tòfona negra». *Rural & Forest*, 2 (2004), p.15-18.
- [10] a) ESCAFRE, A.; ROUSSEL, F. *Rapport relatif au développement de la trufficulture française* [en línia]. França: Archives Ministère de l'Agriculture, 2006. <<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/074000130.pdf>> [Consulta:

14 juny 2022]. b) MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE; FÉDÉRATION FRANÇAISE DES TRUFFICULTEURS. *Protocol 2014-2020 pour le développement de la production de truffes*. França: Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire: FFT, 2014.

[11] MARTIN, F.; KOHLER, A.; MURAT, C.; BALESTRINI, R.; COUTINHO, P. M.; JAILLON, O.; MONTANINI, B.; MORIN, E.; NOËL, B.; PERCUDANI, R.; PORCEL, B.; RUBINI, A.; AMICUCCI, A.; AMSELEM, J.; ANTHOUARD, V.; ARCIONI, S.; ARTIGUENAVE, F.; AURY, J.-M.; BALLARIO, P.; BOLCHI, A.; BRENNER, A.; BRUN, A.; BUÉE, M.; CANTAREL, B.; CHEVALIER, G.; COULOUX, A.; SILVA, C. DA; DENOËUD, F.; DUPLESSIS, S.; GHIGNONE, S.; HILSELBERGER, B.; IOTTI, M.; MARÇAIS, B.; MELLO, A.; MIRANDA, M.; PACIONI, G.; QUESNEVILLE, H.; RICCIONI, C.; RUOTOLO, R.; SPLIVALLO, R.; STOCCHI, V.; TISSERANT, E.; VISCOMI, A. R.; ZAMBONELLI, A.; ZAMPIERI, E.; HENRISSAT, B.; LEBRUN, M.-H.; PAOLOCCI, F.; BONFANTE, P.; OTTONELLO, S.; WINCKER, P. «Périgord black truffle genome uncovers evolutionary origins and mechanisms of symbiosis». *Nature* [en línia], 464 (2010), p. 1033-1038. <<https://doi.org/10.1038/nature08867>>.

[12] REYNA, S.; GARCIA-BARREDA, S. «Black truffle cultivation: a global reality». *Forest Systems* [en línia], 23 (2) (2014), p. 317-328. <<https://doi.org/10.5424/fs/2014232-04771>>.

[13] SÁNCHEZ, S.; MIGUEL, A. M. de; SÁEZ, R.; MARTÍN-SANTAFÉ, M.; ÁGUEDA, B.; BARRIUSO, J.; GARCÍA-BARREDA, S.; SALVADOR-ALCALDE, D.; REYNA, S. «La trufa de verano en la península Ibérica: estado actual y potencialidad de cultivo». *ITEA* [en línia], 112 (1) (2016), p. 20-33. <<https://doi.org/10.12706/itea.2016.007>>.

[14] Vegeu el lloc web del Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) de Solsona (Lleida): <https://www.ctfc.cat> [Consulta: 12 juny 2022].

[15] OLIACH, D.; BONET, J. A.; FISCHER, C. R.; OLIVERA, A.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; COLINAS, C. *Dossier Tècnic* [Barcelona: Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries], núm. 26 (febrer 2008): *El cultiu de la tòfona negra* [en línia]. <[http://www.ruralcat.com/migracio\\_resources/671311\\_Dossier%20Tècnic%2026.pdf](http://www.ruralcat.com/migracio_resources/671311_Dossier%20Tècnic%2026.pdf)> [Consulta: 14 juny 2022].

[16] FISCHER, C.; OLIACH, D.; BONET, J. A.; COLINAS, C. *Best practices for cultivation of truffles* [en línia]. Solsona: Forest Sciences Centre of Catalonia; Antalya: Yaşama Dair Vakıf, 2017. <<http://hdl.handle.net/10459.1/62828>> [Consulta: 14 juny 2022].

[17] RUBINI, A.; PAOLOCCI, F.; GRANETTI, B.; ARCIONI, S. «Morphological characterization of molecular-typed *Tuber magnatum* ectomycorrhizae». *Mycorrhiza* [en línia], 11 (2001), p. 179-185. <<https://doi.org/10.1007/s005720100116>>.

[18] MURAT, C. «La truffe blanche *Tuber magnatum* : est-il possible de la cultiver en France?». Seminari en línia WeTRUF, SAS (Vandoeuvre-lès-Nancy, França, 17 febrer 2021).

[19] STAHL, P. P.; WARD, D. *Evaluation of the potential of growing *Tuber melanosporum* as a crop on mainland Australia for export and domestic consumption*. Richmond Victoria: Rural Industries Research and Development Corporation, 1996. [Projecte núm. DPS - 1A]

[20] BONET, J. A.; COLINAS, C. «Cultivo de *Tuber melanosporum* Vitt. Condiciones y rentabilidad». *Forestalia*, 5 (2001), p. 38-45.

[21] OLIACH, D.; OLIVERA, A.; PALACIO, L.; DUARTE, R.; MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J.; FISCHER, C. R.; BONET, J. A.; COLINAS, C. «Con sabor a bosque: trufa». Projecte pilot del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya en el marc del Programa de la Red Rural Nacional del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, convocatòria 2009.

[22] MORCILLO, M.; SÁNCHEZ, M.; VILANOVA, X. *Cultivar trufas: Una realidad en expansión*. Barcelona: Micología Forestal & Aplicada, 2015.

[23] Vegeu el lloc web de l'Associació de Productors de Tòfona de Catalunya (PROTOCAT): <http://www.productorstofona.cat> [Consulta: 12 juny 2022].

[24] LERNER, A. B.; FITZPATRICK, T. B. «Biochemistry of melanine formation». *Physiol. Rev.* [en línia], 30 (1) (1950), p. 91-126. <<https://doi.org/10.1152/physrev.1950.30.1.91>>.

[25] Per a la descripció de la *Tuber uncinatum* vegeu <https://fruitsdelaterra.com/blog-es/tuber-uncinatum-trufa-otono> [Consulta: 12 juny 2022].

[26] GARCIA-MONTERO, L. G.; CASERMEIRO, M. A.; HERNANDO, I.; HERNANDO, J. «Effect of active carbonate, exchangeable calcium and stoniness of soil on *T. melanosporum* carpophore production». *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* [en línia], 35 (1) (2007), p. 139-146. <<https://doi.org/10.1080/01140670709510178>>.

[27] RUBINI, A.; BELFIORI, B.; RICCIONI, C.; TISSERANT, E.; ARCIONI, S.; MARTIN, F.; PAOLOCCI, F. «Isolation and characterization of MAT genes in the symbiotic ascomycete *Tuber melanosporum*». *The New Phytologist* [en línia], 189 (3) (2011), p. 710-722. <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03492.x>>.

[28] ZAMPIERI, E.; RIZZELLO, R.; BONFANTE, P.; MELLO, A. «The detection of mating type genes of *Tuber melanosporum* in productive and non-productive soils». *Appl. Soil Ecol.* [en línia], 57 (2012), p. 9-15. <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.013>>.

[29] SOURZAT, P. *Guide pratique de trufficulture*. Le Montat: Station d'expérimentation sur la truffe. Lycée professionnel agricole et viticole de Cahors - Le Montat, 2002.

- [30] MENTA, C.; SINISCALCO, C.; BONATI, B.; REMELLI, S. «Food choice and fitness of *Folsomia candida* (Collembola, Isotomidae) fed on twelve species of truffle». *Front. Environ. Sci.* [en línia], 7 (2019), article 114, p. 1-8. <<https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00114>>.
- [31] GARCÍA-MONTERO, L. G.; QUINTANA, A.; VALVERDE-ASENJO, I.; DÍAZ, P. «Calcareous amendments in truffle culture: a soil nutrition hypothesis». *Soil Biol. Biochem.* [en línia], 41 (6) (2009), p. 1227-1232. <<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.003>>.
- [32] MENTA, C.; PINTO, S. «Biodiversity and ecology of soil fauna in relation to truffle». A: ZAMBONELLI, A.; LOTTI, M.; MURAT, C. (ed.). *True truffle (Tuber spp.) in the world: Soil ecology, systematics and biochemistry*. Cham: Springer, 2016. (Soil Biology; 47), p. 319-331.
- [33] BONITO, G. M.; GRYGANSKYI, A. P.; TRAPPE J. M.; VILGALYS R. «A global meta-analysis of *Tuber* ITS rDNA sequences: species diversity, host associations and long-distance dispersal». *Mol. Ecol.* [en línia], 19 (22) (2010), p. 4994-5008. <<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04855.x>>.
- [34] SPLIVALLO, R.; OTTONELLO, S.; MELLO, A.; KARLOVSKY, P. «Truffle volatiles: from chemical ecology to aroma biosynthesis». *New Phytologist* [en línia], 189 (3) (2011), p. 688-699. <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03523.x>>.
- [35] TALOU, T.; GASET, A.; DELMAS, M.; KULIFAJ, M.; MONTANT, C. «Dimethyl sulphide: the secret for black truffle hunting by animals?». *Mycological Research* [en línia], 94 (2) (1990), p. 277-278. <[https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80630-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80630-8)>.
- [36] TRAPPE, J. M.; CLARIDGE, A. W. «The hidden life of truffles». *Sci. Am.* [en línia], 302 (4) (2010), p. 78-84. <<https://doi.org/10.1038/scientificamerican0410-78>>.
- [37] SPLIVALLO, R. «Biological significance of truffle secondary metabolites». A: KARLOVSKY, P. (ed.). *Secondary metabolites in soil ecology*. Berlín; Heidelberg: Springer, 2008. (Soil Biology; 14), p. 141-165.
- [38] MENOTTA, M.; GIOACCHINI, A. M.; AMICUCCI, A.; BUFFALINI, M.; SISTI, D.; STOCCHI, V. «Headspace solid-phase microextraction with gas chromatography and mass spectrometry in the investigation of volatile organic compounds in an ectomycorrhizae synthesis system». *Rapid Communications in Mass Spectrometry* [en línia], 18 (2), (2004), p. 206-210. <<https://doi.org/10.1002/rcm.1314>>.
- [39] SPLIVALLO, R.; FISCHER, U.; GÖBEL, C.; FEUSSNER, I.; KARLOVSKY, P. «Truffles regulate plant root morphogenesis via the production of auxin and ethylene». *Plant Physiology* [en línia], 150 (4) (2009), p. 2018-2029. <<https://doi.org/10.1104/pp.109.141325>>.
- [40] SPLIVALLO, R.; NOVERO, M.; BERTEA, C. M.; BOSSI, S.; BONFANTE, P. «Truffle volatiles inhibit growth and induce an oxidative burst in *Arabidopsis thaliana*». *New Phytologist* [en línia], 175 (3) (2007), p. 417-424. <<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02141.x>>.
- [41] HARKI, E.; BOUYA, D.; DARGENT, R. «Maturation-associated alterations of the biochemical characteristics of the black truffle *Tuber melanosporum* Vitt.». *Food Chem.* [en línia], 99 (2) (2006), p. 394-400. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.030>>.
- [42] ÜSTÜN, N.S.; BULAM, S.; PEKSEN, A. «Biochemical properties, biological activities and usage of truffles». Conferència de l'International Congress on Engineering and Life Science (ICELIS 2018) (Kastamonu, Turquia, 26-29 abril 2018). *Proceeding book*, 2018, p. 772-778. També disponible en línia a: <[https://www.researchgate.net/publication/328738891\\_Biochemical\\_Properties\\_Biological\\_Activities\\_and\\_Usage\\_of\\_Truffles](https://www.researchgate.net/publication/328738891_Biochemical_Properties_Biological_Activities_and_Usage_of_Truffles)> [Consulta: 14 juny 2022].
- [43] LEE, H.; NAM, K.; ZAHRA, Z.; FAROOQI, M. Q. U. «Potentials of truffles in nutritional and medicinal applications: a review». *Fungal Biol. Biotechnol.*, 7 (2020), article 9. <<https://doi.org/10.1186/s40694-020-00097-x>>.
- [44] ALFREDO-MARTÍNEZ, J. *Fundamentos teórico-prácticos de nutrición y dietética*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 1998.
- [45] PATEL, S.; RAUF, A.; KHAN, H.; KHALID, S.; MUBARAK, M. S. «Potential health benefits of natural products derived from truffles: a review». *Trends Food Sci. Technol.* [en línia], 70 (2017), p. 1-8. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.009>>.
- [46] BEARA, I. N.; LESJAK, M. M.; CETOJEVIĆ-SIMIN, D. D.; MARJANOVIĆ, Z. S.; RISTIĆ, J. D.; MRKONJIĆ, Z. O.; MIMICA-DUKIĆ, N. M. «Phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activities of black (*Tuber aestivum* Vittad.) and white (*Tuber magnatum* Pico) truffles». *Food Chem.* [en línia], 165 (2014), p. 460-466. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.116>>.
- [47] PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. «Flavonoids: an overview». *J. Nutr. Sci.* [en línia], 5 (2016), article e47. <<https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>>.
- [48] GIL-RAMÍREZ, A.; PAVO-CABALLERO, C.; BAEZA, E.; BAENAS, N.; GARCIA-VIGUERA, C.; MARÍN, F. R.; SOLER-RIVAS, C. «Mushrooms do not contain flavonoids». *J. Funct. Foods* [en línia], 25 (2016), p. 1-3. <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.005>>.
- [49] Vegeu una experiència d'agroturisme a <https://fetalaconca.cat/ecoturisme/tofona-de-la-conca> [Consulta: 14 juny 2022].

- [50] Vegeu una experiència d'emprenedoria a <https://tofona.deaconca.com> [Consulta: 14 juny 2022].
- [51] Vegeu el lloc web del European Mycological Institute (EMI): <https://eumi.eu> [Consulta: 14 juny 2022].
- [52] Vegeu el lloc web oficial de Trufforum: <https://trufforum.com/?lang=ca> [Consulta: 14 juny 2022].
- [53] TALOU, T.; DELMAS, M.; GASET, A. «The volatile components of tinned black Périgord truffles *Tuber melanosporum* Vitt.». *Flavour and Fragrance Journal* [en línia], 4 (3) (1989), p. 109-112. <<https://doi.org/10.1002/ffj.2730040305>>.
- [54] BELLESIA, F.; PINETTI, A.; BIANCHI, A.; TIRILLINI, B. «The volatile organic compounds of black truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.) from Middle Italy». *Flavour and Fragrance Journal* [en línia], 13 (1) (1998), p. 56-58. <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199801/02\)13:1<56::AID-FFJ692>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199801/02)13:1<56::AID-FFJ692>3.0.CO;2-X)>.
- [55] DIAZ, P.; IBÁÑEZ, E.; SEÑORÁNS, F. J.; REGLERO, G. «Truffle aroma characterization by headspace solid-phase microextraction». *J. Chromatogr. A* [en línia], 1017 (1-2) (2003), p. 207-214. <<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.08.016>>.
- [56] MAURIELLO, G.; MARINO, R.; D'AURIA, M.; CERONE, G.; RANA, G. L. «Determination of volatile organic compounds from truffles via SPME-GC-MS». *J. Chromatogr. Sci.* [en línia], 42 (6) (2004), p. 299-305. <<https://doi.org/10.1093/chromsci/42.6.299>>.
- [57] GIOACCHINI, A. M.; MENOTTA, M.; BERTINI, L.; ROSSI, I.; ZEPPA, S.; ZAMBONELLI, A.; PICCOLI, G.; STOCCHI, V. «Solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry: A new method for species identification of truffles». *Rapid Commun. Mass Spectrom.* [en línia], 19 (17) (2005), p. 2365-2370. <<https://doi.org/10.1002/rcm.2031>>.
- [58] SPLIVALLO, R.; BOSSI, S.; MAFFEI, M.; BONFANTE, P. «Discrimination of truffle fruiting body versus mycelial aromas by stir bar sorptive extraction». *Phytochemistry* [en línia], 68 (20) (2007), p. 2584-2598. <<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.03.030>>.
- [59] CULLERÉ, L.; FERREIRA, V.; CHEVRET, B.; VENTURINI, M. E.; SÁNCHEZ-GIMENO, A. C.; BLANCO, D. «Characterisation of aroma active compounds in black truffles (*Tuber melanosporum*) and summer truffles (*Tuber aestivum*) by gas chromatography-olfactometry». *Food Chem.* [en línia], 122 (1) (2010), p. 300-306. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.024>>.
- [60] SPLIVALLO, R.; EBELER, S. E. «Sulfur volatiles of microbial origin are key contributors to human-sensed truffle aroma». *Appl. Microbiol. Biotechnol.* [en línia], 99 (6) (2015), p. 2583-2592. <<https://doi.org/10.1007/s00253-014-6360-9>>.
- [61] VAHDATZADEH, M.; DEVEAU, A.; SPLIVALLO, R. «The role of the microbiome of truffles in aroma formation: a meta-analysis approach». *App. Environ. Microbiol.* [en línia], 81 (20) (2015), p. 6946-6952. <<https://doi.org/10.1128/AEM.01098-15>>.
- [62] SPLIVALLO, R.; DEVEAU, A.; VALDEZ, N.; KIRCHHOFF, N.; FREY-KLETT, P.; KARLOVSKY, P. «Bacteria associated with truffle-fruiting bodies contribute to truffle aroma». *Environ. Microbiol.* [en línia], 17 (8) (2015), p. 2647-2660. <<https://doi.org/10.1111/1462-2920.12521>>.
- [63] BUZZINI, P.; GASPARETTI, C.; TURCHETTI, B.; CRAMAROSSA, M. R.; VAUGHAN-MARTINI, A.; MARTINI, A.; PAGNONI, U. M.; FORTI, L. «Production of volatile organic compounds (VOCs) by yeasts isolated from the ascocarps of black (*Tuber melanosporum* Vitt.) and white (*Tuber magnatum* Pico) truffles». *Archives of Microbiol.* [en línia], 184 (3) (2005), p. 187-193. <<https://doi.org/10.1007/s00203-005-0043-y>>.
- [64] HAZELWOOD, L. A.; DARAN, J.; MARIS, A. J. A. van; PRONK, J. T.; DICKINSON, J. R. «The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism». *Appl. Environ. Microbiol.* [en línia], 74 (8) (2008), p. 2259-2266. <<https://doi.org/10.1128/AEM.02625-07>>.
- [65] CULLERÉ, L.; FERREIRA, V.; VENTURINI, M. E.; MARCO, P.; BLANCO, D. «Potential aromatic compounds as markers to differentiate between *Tuber melanosporum* and *Tuber indicum* truffles». *Food Chem.* [en línia], 141 (1) (2013), p. 105-110. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.027>>.
- [66] SPLIVALLO, R.; CULLERÉ, L. «The smell of truffles: from aroma biosynthesis to product quality». A: ZAMBONELLI, A.; IOTTI, M.; MURAT, C. (ed.). *True truffle (Tuber spp.) in the world*. Berlín; Heidelberg: Springer, 2016. (Soil Biology; 47), p. 393-407.
- [67] GIOACCHINI, A. M.; MENOTTA, M.; GUESCINI, M.; SALTARELLI, R.; CECCAROLI, P.; AMICUCCI, A.; BARBIERI, E.; GIOMARO, G.; STOCCHI, V. «Geographical traceability of Italian white truffle (*Tuber magnatum* Pico) by the analysis of volatile organic compounds». *Rapid Commun. Mass Spectrom.* [en línia], 22 (20) (2008), p. 3147-3153. <<https://doi.org/10.1002/rcm.3714>>.
- [68] STROJNIK, L.; GREBENC, T.; OGRINC, N. «Species and geographic variability in truffle aromas». *Food Chem. Toxicol.* [en línia], 142 (2020), article 111434. <<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111434>>.
- [69] CULLERÉ, L.; FERREIRA, V.; VENTURINI, M. E.; MARCO, P.; BLANCO, D. «Chemical and sensory effects of the freezing process on the aroma profile of black truffles (*Tuber melanosporum*)». *Food Chem.* [en línia], 136 (2) (2013), p. 518-525. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.030>>.

- [70] ŠIŠKOVIĆ, N.; STROJNIK, L.; GREBENC, T.; VIDRIH, R.; OGRINC, N. «Differentiation between species and regional origin of fresh and freeze-dried truffles according to their volatile profiles». *Food Control* [en línea], 123 (2021), article 107698. <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107698>>.
- [71] MARCO, P.; CAMPO, E.; ORIA, R.; BLANCO, D.; VENTURINI, M. E. «Effect of lyophilisation in the black truffle (*Tuber melanosporum*) aroma: A comparison with other long-term preservation treatments (freezing and sterilization)». *Acta Horticulturae*, 1194 (2018), p. 831-838. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.117>>.
- [72] PALACIOS, I.; GUILLAMÓN, E.; GARCÍA-LAFUENTE, A.; VILLARES, A. «Effects of freeze-drying treatment on the aromatic profile of *Tuber* spp. truffles». *Journal of Food Processing and Preservation* [en línea], 38 (3) (2012), p. 768-773. <<https://doi.org/10.1111/jfpp.12028>>.
- [73] TORREGIANI, E.; LORIER, S.; SAGRATINI, G.; MAGGI, F.; VITTORI, S.; CAPPRIOLI, G. «Comparative analysis of the volatile profile of 20 commercial samples of truffles, truffle sauces, and truffle-flavoured oils by using HS-SPME-GC-MS». *Food Analytical Methods* [en línea], 10 (6) (2017), p. 1857-1869. <<https://doi.org/10.1007/s12161-016-0749-2>>.
- [74] PACIONI, G.; CERRETANI, L.; PROCIDA, G.; CICHELLI, A. «Composition of commercial truffle flavoured oils with GC-MS analysis and discrimination with an electronic nose». *Food Chemistry* [en línea], 146 (supplement C) (2014), p. 30-35. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.016>>.
- [75] BLANCH, C.; IBÁÑEZ, C.; HUESO, A.; BARNIOL, N.; TORRES-MORENO, M. «Volatile compounds characterization in truffle infused-oils by HS-SPME-GC-MS analysis». A: *1st International Conference on Truffle Research '14* (Vic-Barcelona, 2014) [en línea]. Ed. a cura de Consol Blanch i Alba Crespi. Servei de Publicacions de la UVic-UCC. <<http://hdl.handle.net/10854/7140>> [Consulta: 30 novembre 2022].
- [76] TÀRREGA, A.; BLANCH, C.; CRESPI, A.; IBÁÑEZ, C.; TORRES-MORENO, M. «Sensory distinctive features in the aroma of truffle oils». A: *1st International Conference on Truffle Research '14* (Vic-Barcelona, 2014) [en línea]. Ed. a cura de Consol Blanch i Alba Crespi. Servei de Publicacions de la UVic-UCC. <<http://hdl.handle.net/10854/7140>> [Consulta: 30 novembre 2022].
- [77] BLANCH, C.; IBÁÑEZ, C.; ARGELAGUÉS, M.; TÀRREGA, A.; TORRES-MORENO, M. «Searching for naturally generated volatiles from *Tuber melanosporum* as authenticity markers for black truffle infused vegetable oils». A: SIEGMUND, B.; LEITNER, E. (ed.). *Flavour science*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 2018, p. 335-338.
- [78] DUBAL, S. A.; TILKARI, Y. P.; MOMIN, S. A.; BORKAR, Y. V. «Biotechnological routes in flavour industries». *Advanced Biotech.* (març 2008), p. 20-31.
- [79] WERNIG, F.; BUEGGER, F.; PRITSCH, K.; SPLIVALLO, R. «Composition and authentication of commercial and home-made white truffle-flavoured oils». *Food Control* [en línea], 87 (2018), p. 9-16. <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.045>>.
- [80] «Reglamento (CE) n.º 1334/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre los aromas y determinados ingredientes alimentarios con propiedades aromatizantes utilizados en los alimentos y por el que se modifican el Reglamento (CEE) n.º 1601/91 del Consejo, los Reglamentos (CE) n.º 2232/96 y (CE) n.º 110/2008 y la Directiva 2000/13/CE». *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], núm. L 354 (31 de diciembre 2008), p. 34-50. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1334&qid=1659091647176&from=EN>> [Consulta: 14 juny 2022].
- [81] «Reglamento (UE) n.º 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 1924/2006 y (CE) n.º 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan la Directiva 87/250/CEE de la Comisión, la Directiva 90/496/CEE del Consejo, la Directiva 1999/10/CE de la Comisión, la Directiva 2000/13/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/67/CE, y 2008/5/CE de la Comisión, y el Reglamento (CE) n.º 608/2004 de la Comisión». *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], núm. L 304 (22 de noviembre 2011), p. 18-63. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1169&from=EN>> [Consulta: 14 juny 2022].
- [82] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Análisis sensorial*. Madrid: AENOR, 1997.
- [83] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *UNE 87027 - Identificación y selección de descriptores para la elaboración del perfil sensorial mediante distintos enfoques. CTN 87 Análisis Sensorial*. Madrid: AENOR, 1998.
- [84] BALDUS, M.; KLIE, R.; BIERMANN, M.; KREUSCHNER, P.; HUTZLER, M.; METHNER, F. J. «On the behaviour of dimethyl sulfoxide in the brewing process and its role as dimethylsulfide precursor in beer». *Brewing Science* [en línea], 71 (2018), p. 1-11. <<https://doi.org/10.23763/BrSc18-01baldus>>.
- [85] CAPIROTTI, K.; CAPIROTTI, J. A. «Dimethyl sulfoxide: history, chemistry, and clinical utility in dermatology». *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 5 (9) (2012), p. 24-26.

[86] CARSON, J. F.; WONG, F. F. «Onion flavour and odour, the volatile flavour components of onions». *J. Agric. Food Chem.* [en línia], 9 (2) (1961), p. 140-143. <<https://doi.org/10.1021/jf60114a015>>.

[87] GUMBMAN, M. R.; BURR, H. K. «Food flavours and odours, volatile sulfur compounds in potatoes». *J. Agric. Food Chem.* [en línia], 12 (5) (1964), p. 404-408. <<https://doi.org/10.1021/jf60135a004>>.

[88] WALKER, M. D. «Estimation of volatile sulphur compounds in beer». *J. Inst. Brew.*, 98 (1992), p. 283-287.

[89] WANG, S.; MARCONE, M. F. «The biochemistry and biological properties of the world's most expensive underground edible mushroom: truffles». *Food Res. Int.* [en línia], 44 (9) (2011), p. 2567-2581. <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.008>>.



C. Blanch



C. Ibáñez



A. Tàrrega



M. Torres-Moreno

**Consol Blanch** és doctora en química per la Universitat de Barcelona (UB, 1978). Va realitzar la tesi en l'àmbit de síntesi orgànica de compostos mimètics d'hormona juvenil d'insectes a l'Institut de Química Orgànica del CSIC. És professora emèrita de la Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC). Ha participat en grups d'innovació educativa, de recerca aplicada a la tecnologia dels aliments i de recerca en el control de la contaminació (atmosfèrica, sòls, aigües i conreus). Ha col·laborat en tasques de formació continuada i de divulgació científica coordinant les activitats de la Setmana de la Ciència a la UVic-UCC (1996-2012). En l'actualitat és vocal de la Junta de la Societat Catalana de Química, filial de l'Institut d'Estudis Catalans.

**Carlos Ibáñez** és llicenciat en ciències químiques per la Universitat de Barcelona (UB), especialitat en química analítica (1980). És cap del Departament d'Anàlisi de la Divisió d'Innovació de Lucta, SA. Té més de trenta publicacions nacionals i internacionals en els camp d'aromes, fragàncies i additius per a alimentació animal, cromatografia de gasos, cromatografia de líquids, espectrometria de masses, mètodes extractius, anàlisi i normalització d'olis essencials. Va ser president del Subcomitè d'AENOR d'Olis Essencials (1991-2000) i president del Comitè Tècnic Internacional 54 d'Olis Essencials de ISO (1994-2000). És revisor especialista del *Journal of Food Science* i professor del Màster Internacional de Neuromàrqueting de la Universitat Autònoma de Barcelona com a especialista en la química de l'olfacció.

**Amparo Tàrrega** és llicenciada en ciència i tecnologia dels aliments (1999) i en farmàcia (2003) per la Universitat de València (UV) i doctora en ciència dels aliments per la UV (2005). És investigadora de l'Institut d'Agroquímica i Tecnologia d'Aliments (IATA-CSIC) a Espanya. És experta en ciència sensorial i del consumidor i els objectius de la seva recerca són comprendre els mecanismes orals implicats en la percepció sensorial i l'ús d'eines avançades per a mesurar i modelitzar la resposta del consumidor a les propietats sensorials i no sensorials dels aliments.

**Míriam Torres-Moreno** és diplomada en nutrició humana i dietètica per la Universitat de Barcelona (UB, 2000), llicenciada en ciència i tecnologia dels aliments (UB, 2002) i doctora en nutrició i metabolisme (Programa Interuniversitari de Nutrició i Metabolisme) per la Universitat Rovira i Virgili (URV, 2012). Des del 2004 és professora titular a la Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC), on actualment és degana de la Facultat de Ciències de la Salut i el Benestar. La seva recerca està centrada en l'estudi dels factors que expliquen el patró alimentari de les persones, i a entendre el comportament alimentari des de la perspectiva dels factors implicats en la percepció de les propietats dels aliments.