



MILLORA DE LA QUALITAT SENSORIAL I NUTRICIONAL DE LES
VARIETATS TRADICIONALS HORTÍCOLES
EL CAS DEL CALÇOT (*Allium cepa* L.)



SILVIA SANS MOLINS 2019



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia

Programa de Doctorat en Tecnologia Agroalimentària i Biotecnologia

Millora de la qualitat sensorial i nutricional de les varietats tradicionals hortícoles: el cas del calçot (*Allium cepa* L.)

Tesi doctoral realitzada per:

Silvia Sans Molins

Dirigida per:

Joan Simó Cruanyes

Memòria presentada per optar al títol de Doctora per la Universitat Politècnica de Catalunya

Tesi per compendi de publicacions

Castelldefels, juliol del 2019

L'agricultura és la professió pròpia del savi,
la més adequada al senzill
i l'ocupació més digne per a tot home lliure.

Ciceró

AGRAÏMENTS

Totes les coses tenen un final, també aquesta tesi, malgrat en alguns moments m'hagi estat difícil de creure.

Si aquest document arriba a les teves mans, hola! Em dic Sílvia, i en aquestes pàgines hi trobaràs resumits els anys més intensos que he viscut fins ara. Ha estat dur, a vegades molt dur, no en va, molta gent em coneix per aquella que sempre està treballant. Però també hi ha hagut moments genials, no hi ha res millor que fer una feina que t'agrada, i probablement d'aquí a uns mesos ja no recordaré les males estones, ni els nervis i l'estrès patit (sempre i quan no em miri al mirall i em vegi les canes que m'han aparegut darrerament).

I malgrat he fet una feina apassionant, els millors moments me'ls heu donat totes aquelles persones que heu estat d'alguna manera o altre al meu costat, sense les quals això no hagués estat possible, aquestes paraules són per vosaltres.

En primer lloc, vull donar les gràcies als pagesos. No és fàcil fer recerca en agricultura, hi ha masses factors que no pots controlar, i vosaltres m'heu ajudat enormement cuidant-me aquell trosset del camp que us ocupava amb els meus experiments. Vull fer un especial esment al Sebastià, al Jordi, al Dalmaci, al Quico i al Ciscu, de la IGP, i en especial al Mario, que va ser el primer en començar-me a patir, l'any 2012 amb el TFG.

Al Cesc, que va ser el qui em va proposar començar a treballar amb el calçot, que em va convèncer per fer el màster i després va creure que podia fer un doctorat. En aquesta tesi, i en tots els articles, hi has ficat una bona cullerada. I si, et dec una mariscada.

Al Joan, gràcies per deixar-me en herència tot això de calçot, és molt guai. La Montferri ja és també una mica fillet meu oi?

Als de Lleida, Íngrid, Tomás, Gloria, Lorena i Sílvia, ha estat un plaer compartir el calçot amb vosaltres, i gràcies per lo a gust que em va fer sentir aquells dos mesos al Fruitcentre. I als de Tarragona, Ricard i Joan, perquè amb vosaltres vaig començar a entendre una miqueta això de la quimiometria (i el que falta!).

A tot els de la FMA, als sèniors: Roser, Josep, Toni i Nando, gràcies per totes les estones compartides, pels riures i per ajudar-me sempre que ho he necessitat. Als júnior: als de sempre, Joan Casals, Dani, Ana i Aurora (a vosaltres dues una mica més); als del principi, Neus i Ramiro; als del mig, Clara i Martí; i als d'ara al final, Helena, Ernest, Berta i Gemma. No sé si en sou conscients, però heu estat bastant més que els meus companys de feina. SOM LA FMA!

També a tots els estudiants (en sou una pila!) de pràctiques, TFG i TFM, que durant aquests anys heu passat per la FMA, en especial aquells que heu treballat amb calçot. Us dono les gràcies per tot el que m'heu ajudat i també aprofito per demanar-vos perdó per haver-vos fet matinar tant, tant, que algun dia encara no havia sortit el sol a l'arribar al camp.

També a tota la gent que treballa a l'ESAB, doctorands, professors, tècnics, administració i serveis (Montse, Enriqueta i Carlos, com us trobo a faltar! A l'època pre-targeta éreu un element "clau" pels dies que tocava laboratori). I no me n'oblido dels d'Agròpolis! Al Miquel, que encara que a vegades et renyi una miqueta, sempre et dona un cop de mà. I als companys del grup de maquinària, que heu donat "vidilla" a molts dels dinars compartits. Es diu aviat, però ja fa 10 anys que vaig entrar a aquesta escola, com a estudiant de la primera promoció de grau, ja dec haver passat més hores aquí que a casa meva...

A tots els “Esaberos” que va estudiar amb mi, a aquells que biennalment (com el cultiu del calçot) ens trobem a Prats, i en especial els que més m’heu aguantat els darrers anys, Renata, Meri, Pep i Orozco, us estimo!

A la família, a tots i cadascun de vosaltres, i a la del Josep, que ara també és la meva. Especial esment a la mare que em va parir. I a l’avi Pere i la iaia Chon, que crec que no han entès gaire bé que carai he estat fent tot aquest temps. I al Mario, que va néixer un dia que plovia i jo estava collint tomàquets a un hivernacle.

I a la família que s’elegeix, quina sort tinc de comptar amb tots vosaltres. Gràcies per omplir tots els moments en els que no estava fent tesi. Als “Marujis”, sou tant importants que fins i tot em va casar. Als “Forasters de Cànoves”, alguna de tan lluny com Montardit. I a les de bàsquet, aquestes dues últimes temporades, uns quants cops de colze han sigut la meva mesura antiestrès. I en general a tots, als amics de fa temps i també als més nous, no cal que us posi el nom perquè sapiguen lo molt agraïda que estic de tenir-vos.

I al Josep, a tu que t’he de dir? GRÀCIES, molt, molt, molt.

RESUM

La qualitat sensorial i nutricional són aspectes importants per al consumidor actual i donen valor afegit als productes agroalimentaris. Hi ha però, una percepció generalitzada de que la qualitat, especialment el gust, dels productes hortofructícoles s'ha anat deteriorant.

Les varietats tradicionals tenen una identitat reconeguda associada a una localització específica i un origen històric, amb una bona adaptació a condicions locals (tant a les edafoclimàtiques, com als sistemes tradicionals de cultiu, que solen ser de baixos inputs). Aquestes tenen però, un rendiment mitjà-baix, el que ha provocat la seva progressiva substitució per varietats millorades, molt més productives en cultius amb elevats inputs. Per això, la majoria de les varietats tradicionals que romanen en el comerç són aquelles que han trobat un nínxol de mercat amb demandes de característiques especials, mes enllà del preu. La seva supervivència passa doncs per tenir qualitats distintives, com és el cas dels calçots (tiges florals immadures de la ceba (*Allium cepa* L.)). Els calçots són un cultiu típic de Catalunya, en concret de les comarques de Tarragona, on hi tenen atorgada una marca de qualitat europea: la Indicació Geogràfica Protegida (IGP) Calçot de Valls. El mercat del calçot està en constant evolució i expansió, i fa anys que la seva producció s'ha estès també fora de la zona tradicional del cultiu.

La qualitat que s'atribueix a un producte, hauria de ser objectiva i mesurable, per poder convertir el seu control en rutinari. La determinació del valor sensorial i nutricional dels aliments (dues de les qualitats més rellevants pels consumidors) presenta, però, una sèrie de limitacions, en especial quan el nombre de mostres a avaluar és elevat. Això fa necessari buscar mètodes alternatius que permetin quantificar la qualitat de manera més ràpida i eficient. Per exemple, l'espectroscòpia d'infraroig proper (NIR, *Near Infrared*) presenta avantatges en comparació amb els mètodes analítics convencionals: multi-analit, rapidesa, baix cost, sense reactius, etc.

Amb la finalitat de que el Calçot de Valls es pugui identificar tant per les seves característiques sensorials com nutricionals, aquesta tesi, estructurada en quatre articles, té l'objectiu de desenvolupar coneixement i eines per a la millora i control d'aquestes dues qualitats en els calçots.

Les característiques nutricionals del calçot han resultat ser similars a les descrites en ceba, malgrat la part que s'aprofita de la planta sigui diferent. Com passa amb altres vegetals, la cocció té un fort impacte sobre la composició del calçot, incrementant el contingut de molts dels compostos estudiats, però disminuint d'altres com els fenols totals o, de manera dràstica, els flavonoides amb una pèrdua d'un 85%.

La variabilitat fenotípica atribuïble a l'ambient ha estat superior a la genètica dins del tipus varietal ceba Blanca Tardana de Lleida (l'única autoritzada per la IGP). Això suggereix prioritzar la millora del maneig a la millora genètica intra-varietal si es vol incrementar la qualitat. No obstant, si considerem tres altres varietats de ceba, la variabilitat genètica s'amplia molt i, per tant, també les possibilitats de fer millora introduint nova variabilitat a través d'encreuaments.

L'espectroscòpia NIR s'ha mostrat com una alternativa viable en l'avaluació de la qualitat nutricional i sensorial del calçot, facilitant l'anàlisi d'un nombre elevat de mostres. Per als caràcters químics el nivell de predicció dels models ha estat entre bo i excel·lent (RPD (*Ratio of Performance to Deviation*) entre 1,99 i 8,07). Pel que fa a la predicció de caràcters sensorials, malgrat els models desenvolupats presenten un nivell de predicció inferior (RPD entre 1,41 i 1,78), aquets són capaços de discernir les mostres que més s'allunyen de l'idiotip establert (dolçor elevada, baixa fibrositat i absència de gustos estranys) facilitant un primer cribratge en millora, o l'eliminació de fora-tipus en el control de qualitat.

Paraules clau: *Allium cepa* L. · anàlisi sensorial · calçot · composició nutricional · espectroscòpia NIR · influència ambiental · qualitat · quimiometria · varietat tradicional

RESUMEN

La calidad sensorial y nutricional son aspectos importantes para el consumidor actual y proporcionan un valor añadido a los productos agroalimentarios. No obstante, hay una percepción generalizada de que la calidad, en especial el sabor, de los productos hortofrutícolas se ha ido deteriorando.

Las variedades tradicionales tienen una identidad reconocida asociada a una localización específica y a un origen histórico, con una buena adaptación a las condiciones locales (tanto a las edafoclimáticas, como a los sistemas tradicionales de cultivo, que suelen ser de bajos insumos). Sin embargo, estas tienen un rendimiento medio-bajo, lo que ha provocado su progresiva substitución por variedades mejoradas, mucho más productivas en cultivos con altos insumos. Por ello, la mayoría de las variedades tradicionales que permanecen en el comercio son aquellas que han encontrado un nicho de mercado con demandas de características especiales, más allá del precio. Su supervivencia pasa por tener calidades distintivas, como en el caso del *calçot* (tallos florales inmaduros de la cebolla (*Allium cepa* L.)). Los *calçots* son un cultivo típico de Cataluña, en concreto de las comarcas de Tarragona, donde tienen otorgada una marca de calidad europea: la Indicación Geográfica Protegida (IGP) *Calçot de Valls*. El mercado del *calçot* está en constante evolución y expansión, y desde hace años su producción se ha extendido fuera de la zona tradicional del cultivo.

La calidad que se atribuye a un producto debería ser objetiva y medible, para poder convertir su control en rutinario. La determinación del valor sensorial y nutricional de los alimentos (dos de las calidades más relevantes para los consumidores) presenta una serie de limitaciones, en especial cuando el número de muestras a evaluar es elevado. Esto hace necesaria la búsqueda de métodos alternativos que permitan cuantificar la calidad de manera más rápida y eficiente. Por ejemplo, la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR, *Near Infrared*) presenta ciertas ventajas en comparación con los métodos analíticos convencionales: multi-analito, rapidez, bajo coste, sin reactivos, etc.

Con la finalidad de que el *Calçot de Valls* se pueda identificar tanto por sus características sensoriales como nutricionales, esta tesis, estructurada en cuatro artículos, tiene por objetivo desarrollar conocimiento y herramientas para la mejora y el control de estas dos calidades en los *calçots*.

Las características nutricionales de los *calçots* han resultado ser similares a las descritas en cebolla, a pesar de que la parte que se aprovecha de la planta sea diferente. Como pasa con otros vegetales, la cocción tiene un fuerte impacto sobre la composición del *calçot*, incrementando el contenido de muchos de los compuestos estudiados, pero disminuyendo otros como los fenoles totales o, de manera drástica, los flavonoides con una pérdida de un 85%.

La variabilidad fenotípica atribuible al ambiente ha sido superior a la genética dentro del tipo varietal cebolla *Blanca Tardana de Lleida* (la única autorizada por la IGP). Esto sugiere priorizar la mejora del manejo a la mejora genética intra-varietal si se quiere incrementar la calidad. No obstante, si consideramos otras tres variedades de cebolla, la variabilidad genética se amplía mucho y, por lo tanto, también las posibilidades de hacer mejora introduciendo nueva variabilidad a través de cruces.

La espectroscopia NIR se ha mostrado como una alternativa viable en la evaluación de la calidad nutricional i sensorial del *calçot*, facilitando el análisis de un número elevado de muestras. Para los caracteres químicos, el nivel de predicción de los modelos ha sido entre bueno y excelente (RPD (*Ratio of Performance to Deviation*) entre 1,99 y 8,07). En cuanto a la predicción de caracteres sensoriales, a pesar de que los modelos desarrollados presentan un nivel de predicción inferior (RPD entre 1,41 y 1,78), estos son capaces de discernir las muestras que más se alejan del idiotipo establecido (dulzura elevada, baja fibrosidad y ausencia de sabores extraños) facilitando un primer cribado en mejora o la eliminación de fuera-tipos en el control de calidad.

Palabras clave: *Allium cepa* L. · análisis sensorial · *calçot* · composición nutricional · espectroscopia NIR · influencia ambiental · calidad · quimiometría · variedad tradicional

ABSTRACT

Sensory and nutritional quality are key elements for consumers, providing added value to agri-food products. However, there is a general perception that horticultural products have lost their quality, especially their taste.

Landraces have an identity associated with a specific area and historical origin, and are adapted to local conditions, both environmental (soil and climate) and crop management (generally low inputs). Nevertheless, they present a medium-low yield, resulting in a progressive replacement by improved varieties with high yields when cultivated in high-input systems. The landraces that remain in commerce are those which have found a high-quality niche market where consumers' interests go beyond the price. The survival of landraces depends on their distinctive qualities, as in the case of *calçots* (the immature floral stems of second-year sprouts of onions (*Allium cepa* L.)). *Calçots* are typical of Catalonia, specifically from counties in the province of Tarragona where the European Union has designated them with the Protected Geographical Indication (PGI): *Calçot de Valls*. The *calçot* market is in constant evolution and expansion, and its cultivation extended beyond its traditional area many years ago.

The quality attributed to a product should be objective and measurable, in order to make its control a routine. The determination of food sensory and nutritional qualities (the most relevant qualities for consumers) presents some limitations, especially when a large number of samples needs to be tested. This necessitates the search for alternative methodologies to measure food quality in the fastest and most efficient way. For example, NIR (Near Infrared) spectroscopy presents some advantages in comparison with conventional analytical methods: multi-analyte, speed, low cost, no reagents, etc.

The objective of this thesis, structured around four articles, is to develop knowledge and tools to improve and control the nutritional and sensory qualities of *calçots*, with the aim of providing an identification based on those two characteristics in the *Calçot de Valls*.

Nutritional properties of *calçots* are similar to those previously reported in onion bulbs, despite the fact that the part of the plant consumed is different. As happens with other vegetables, the cooking process has an important impact on the *calçots*' composition, increasing most of the parameters tested, and decreasing others like total phenols or, more drastically, flavonoids, with an 85% loss.

The environmental influence was found to be higher than genetic influence when only considering accessions from the *Blanca Tardana de Lleida* onion landrace (the only one authorized by the PGI). This result suggests to prioritize management optimization over plant breeding programs to increase quality. However, when considering three other onion varieties, the genetic variability sharply

increases, as do the expected advances in plant breeding introducing new variability via cross-breeds between varieties.

It would be feasible to use NIR spectroscopy to test the nutritional and sensory properties of *calçots*, while facilitating the management of a large number of samples. The accuracy of models developed to estimate chemical properties was between good and excellent (RPD (Ratio of Performance to Deviation) between 1.99 and 8.07). Although the developed models to estimate sensory attributes are less accurate (RPD between 1.41 and 1.78), NIR spectroscopy can help to detect those samples that differ substantially from the ideotype (high sweetness, low fiber perception and the absence of off-flavors), as a first screening in plant breeding programs or in the elimination of outliers in quality control.

Key words: *Allium cepa* L. · sensory analysis · *calçot* · nutritional composition · NIR spectroscopy · environmental influence · quality · chemometrics · landrace



ÍNDEX

ÍNDEX

Agraïments	VII
Resum	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
INTRODUCCIÓ	1
<hr/>	
Primera part: La qualitat i les varietats tradicionals hortícoles	3
1.1 La qualitat: valor afegit dels productes agroalimentaris	3
1.1.1 La qualitat sensorial	6
1.1.2 La qualitat nutricional	9
1.2 Les varietats tradicionals: valorització de l'agricultura local	10
1.3 El rol de les varietats tradicionals en l'obtenció d'hortalisses d'elevada qualitat	12
1.4 Dificultats metodològiques en la determinació de la qualitat nutricional i sensorial	13
1.5 L'espectroscòpia d'infraroig proper com a eina per al fenotipat ràpid	14
1.5.1 L'espectroscòpia d'infraroig i la quimiometria	14
1.5.2 Aplicacions en productes agroalimentaris	17
Segona part: El calçot de Valls	19
2.1 El calçot i el seu cultiu	19
2.2 Importància econòmica: la IGP Calçot de Valls	21
2.3 "State of the art"	23
2.3.1 La recerca en el calçot	23
2.3.2 La millora genètica del calçot	24
2.3.3 La qualitat sensorial i nutricional del calçot	26
Referències	28
OBJECTIUS	43
RESULTATS	47
<hr/>	
Capítol 1. Improving the commercial value of the 'calçot' (<i>Allium cepa</i> L.) landrace: influence of genetic and environmental factors in chemical composition and sensory attributes	49
Capítol 2. Nutritional values of raw and cooked 'calçots' (<i>Allium cepa</i> L. resprouts), an expanding crop	63
Capítol 3. Determination of chemical properties in 'calçot' (<i>Allium cepa</i> L.) by near infrared spectroscopy and multivariate calibration	73
Capítol 4. Estimating sensory properties with near-infrared spectroscopy: a tool for quality control and breeding of 'calçots' (<i>Allium cepa</i> L.)	81

DISCUSSIÓ GENERAL	97
<hr/>	
1. La millora de la qualitat del Calçot de Valls	100
1.1 La qualitat sensorial	100
1.2 La qualitat nutricional	102
1.3 Influència genètica i influència ambiental	104
2. Aplicació de l'espectroscòpia d'infraroig proper en el calçot	105
2.1 Ús de l'espectroscòpia NIR per a la predicció de paràmetres químics en el calçot	106
2.2 Ús de l'espectroscòpia NIR per a la predicció d'atributs sensorials en el calçot	107
3. Consideracions finals	108
Referències	110
CONCLUSIONS	115
ABREVIATURES	119
TAULES I FIGURES	123



INTRODUCCIÓ

INTRODUCCIÓ

Primera part: La qualitat i les varietats tradicionals hortícoles

1.1 La qualitat: valor afegit dels productes agroalimentaris

La **qualitat** és un concepte àmpliament utilitzat però complicat de definir. La podem entendre, de manera simplificada, com el “conjunt de propietats inherents a quelcom, que permeten jutjar-ne el seu valor” (RAE, 2019). A nivell legal, la qualitat dels aliments es defineix com el “conjunt de propietats i característiques d’un producte alimentari o aliment relatives a les matèries primeres o ingredients utilitzats en la seva elaboració, a la seva naturalesa, composició, puresa, identificació, origen, i traçabilitat, així com als processos d’elaboració, emmagatzematge, envasat i comercialització utilitzats i a la presentació del producte final, incloent-hi el seu contingut efectiu i la informació al consumidor final, especialment l’etiquetat” (BOE-A-2015-8563, 2015). Però el terme “qualitat”, més enllà d’estar relacionat amb les propietats d’un producte, té una connotació positiva, d’alt nivell o valor, o de grau d’excel·lència (Barrett *et al.*, 2010). Kramer (1965) va definir la qualitat dels aliments com “la combinació d’aquelles característiques que diferencien els elements individuals d’un producte, i són significants en determinar el grau d’acceptabilitat d’aquell element per a l’usuari”. Aquestes són només algunes de les moltes definicions que es poden trobar a la literatura.

L’elevada qualitat en un producte agrícola es pot entendre com l’absència de defectes, o bé com un grau d’excel·lència (Shewfelt, 1999), i les seves propietats s’aprecien de manera diferent segons la perspectiva de l’agent de la cadena agroalimentària que ho jutgi. En la producció d’aliments les necessitats i expectatives canvien al llarg de la cadena agroalimentària, des del pagès, que es fixarà en els aspectes relacionats amb la productivitat del cultiu, fins al consumidor, per qui la qualitat estarà lligada a la satisfacció de les seves necessitats o desitjos (**Figura 1**). Per raons històriques, i malgrat que tots els atributs que es poden atorgar a un producte formen part de la seva qualitat, normalment aspectes com el rendiment d’un cultiu, o la seva resistència a plagues i malalties s’han considerat separats de la resta (Romero del Castillo, 2010). En aquesta tesi, quan es parli de qualitat, es referirà a la percebuda pels consumidors.

En la producció hortícola, l’objectiu final hauria de ser sempre satisfer les necessitats dels consumidors (o les seves expectatives i desitjos, que sovint van molt més lluny de les necessitats), ja que són qui finalment hauran de comprar el producte. Malgrat es parli del consumidor d’una manera generalista, com si només n’hi hagués un sol tipus i les preferències d’aquest estiguessin establertes, cal considerar que els perfils de consum són específics de cada país o inclús regió, i varien amb l’edat, el gènere, el nivell socioeconòmic o el nivell educatiu, evolucionen amb el temps, i inclús són heterogenis dins aquests segments (Dagevos, 2005). Un exemple d’això es troba en la diferència entre països en la preferència en l’oli d’oliva: els consumidors

espanyols es decanten per olis amb un gust intens i notes de fruita, verd i picant; en canvi, els consumidors nord-americans en general prefereixen olis de gust més suau amb notes afruitades i florals. Però, inclús dins un mateix estat es poden trobar diferències, ja que en el cas d'Itàlia, majoritàriament també hi ha una preferència pels olis de gust intens, però en major percentatge a la regió sud del país respecte a la part centre-nord (Cicerale *et al.*, 2016). Altres casos serien el de l'arròs, en que la preferència en el tipus de gra varia entre països (Suwannaporn i Linnemann, 2008), o la poma, en que hi ha sectors de consumidors que prefereixen pomes dolces i d'altres que tenen una preferència per les pomes àcides (Bonany *et al.*, 2014).

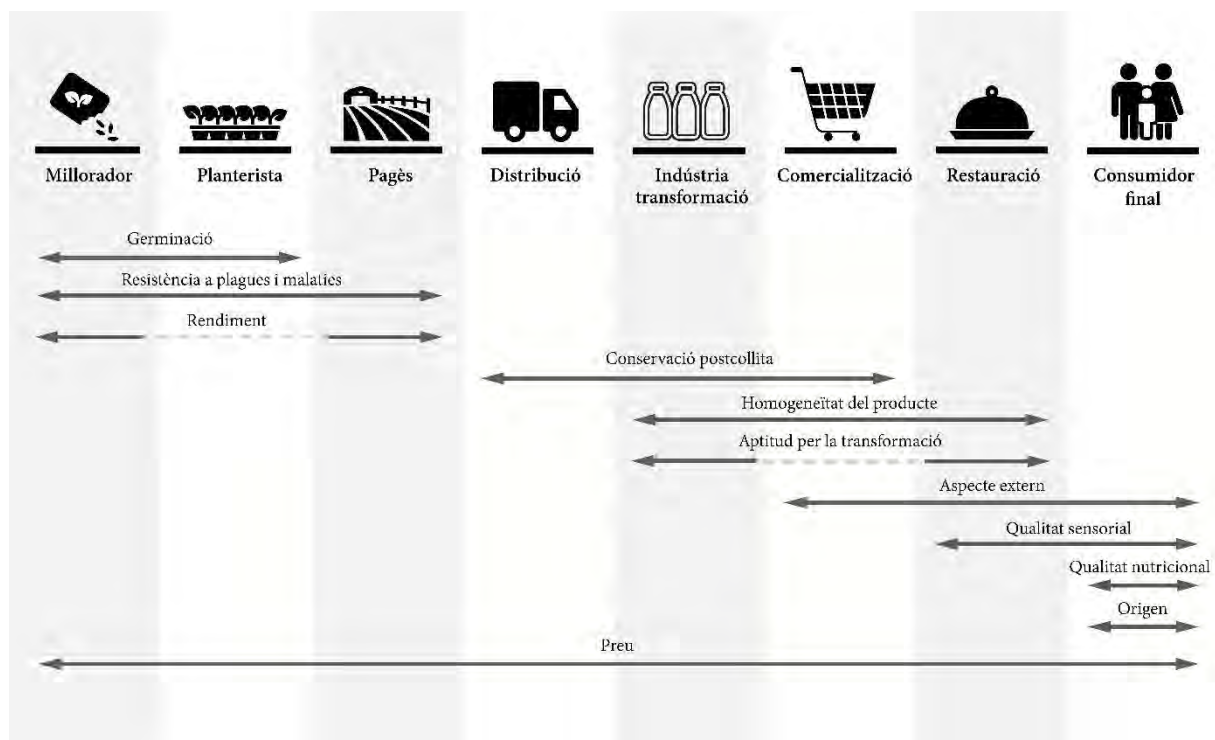


Figura 1. Propietats de la qualitat dels productes agrícoles en funció de la perspectiva dels diferents agents de la cadena agroalimentària.

A més a més, quantificar la valoració del consumidor envers la qualitat d'un producte és complicat, ja que aquesta es basa en la seva pròpia satisfacció, concepte poc tangible i totalment subjectiu. És per això, que Shewfelt (1999) va suggerir considerar la qualitat com la combinació de característiques mesurables d'un producte, mentre que la percepció i resposta dels consumidors envers a aquestes característiques fos denominat **acceptabilitat**.

Per evitar caure en la imprecisió, és d'utilitat classificar els atributs que conformen el terme qualitat dels productes hortícoles en diverses categories, considerant-ne les diferents vessants:

- **Qualitat organolèptica o sensorial:** és la qualitat que es pot apreciar directament amb els sentits. Es sol dividir entre qualitat externa (relacionada amb l'aparença, atributs com el color o la forma) i qualitat interna (només s'aprecia quan es consumeix el producte)(veure apartat 1.1.1).
- **Qualitat nutricional:** està relacionada amb la capacitat dels aliments de proporcionar nutrients (veure apartat 1.1.2).
- **Qualitat sanitària:** es refereix a l'absència de substàncies tòxiques, ja siguin pròpies del producte (factors antinutritius) o bé contaminants químics i/o microbians.
- **Qualitat postcollita:** referent a la capacitat del producte a la conservació durant un cert temps, mantenint-se més o menys inalterat.
- **Qualitat ambiental:** relacionada amb l'impacte causat sobre el medi ambient en l'obtenció de cert producte.

I encara es podrien considerar moltes altres categories com la *qualitat legal o reglamentària*, la *qualitat medicinal*, la *qualitat paisatgística*, la *qualitat cultural*, la *qualitat social*, etc. (Bourn i Prescott, 2002; Llácer *et al.*, 2006). Els atributs de qualitat són específics segons el producte, segons l'ús que se'n faci d'aquest, i també depèn dels mercats (com ja s'ha comentat, existeixen molts tipus de consumidors).

I perquè és tant important la qualitat? Actualment, en els països desenvolupats no hi ha falta d'aliments, ja que després de la revolució verda i els avenços que va suposar en l'agronomia, en termes generals, l'accés a l'alimentació ha deixat de ser un problema. Per altra banda, la globalització dels mercats agrícoles ha suposat un descens en el preu de molts productes, dificultant enormement la competència per preu entre zones desenvolupades amb d'altres amb costos de producció inferiors. És lògic que una vegada satisfeta la gana, els consumidors s'interessin en altres desitjos referents als atributs dels aliments, és a dir, que comencin a fixar-se en altres qualitats més enllà del preu. A la vegada, això coincideix amb la necessitat que tenen els productors, i els demés agents de la cadena agroalimentària, de buscar un **valor afegit** a l'agricultura del territori, per fer front a aquesta crisi del model productivista. En el cas de Catalunya, el sector agrari està patint una forta reestructuració des dels anys 50. Segons dades del cens agrari, el nombre d'explotacions agràries en el període 1982-2009 va disminuir en més d'un 50% (de 127.285 explotacions en el cens de l'any 1982 a 60.839 l'any 2009). Si bé, la superfície cultivada també es va veure reduïda, encara que en molta menys mesura, en benefici d'altres usos del territori –pastures, boscos i zones urbanes–, el canvi més notori ha estat en la mida de les explotacions. S'ha produït una concentració de l'activitat productiva en les mitjanes i grans explotacions, amb la desaparició de moltes de les explotacions familiars de mida més petita, segurament per manca de viabilitat o de relleu generacional. A nivell hortícol, aquest canvi encara ha estat més acusat, amb una disminució en el mateix període de pràcticament un 85% de les explotacions, i aquí si amb una reducció important de la superfície cultivada, amb gairebé una disminució del 70% (de 37.587 explotacions i 20.987 ha de superfície en el cens de l'any 1982 a 5.643 explotacions i 6.499 ha l'any 2009) (IDESCAT, 2019). Una situació anàloga s'ha viscut a la resta de la Unió Europea i es

podria fer extensible en general, als territoris dels països desenvolupats (García, 2002). Això ha desencadenat que la producció en aquestes zones s'efoqui principalment cap a satisfer les noves prioritats dels consumidors (Sijtsema *et al.*, 2002).

Des de la dècada dels 80, els consumidors europeus han orientat les seves preferències cap a productes alimentaris amb noves qualitats (Tolón i Lastra, 2009). Hi ha hagut un increment en la sensibilització per la qualitat interna, però també per l'impacte del sistema de producció en el medi ambient (agricultura ecològica i/o integrada versus agricultura convencional) o l'origen (agricultura local, de proximitat, km0), aspectes que guanyen pes en les preferències dels consumidors (Magnusson *et al.*, 2003; Moser *et al.*, 2011). Val a dir, però, que els consumidors basen les seves decisions en les seves creences, és a dir la seva pròpia percepció de la qualitat, que pot diferir de la qualitat real o mesurable (Grunert, 2005; Palma *et al.*, 2015).

Un bon exemple d'aquesta diferència entre la percepció dels consumidors i la realitat la trobem en els productes ecològics, on en les últimes dècades tant la demanda com l'oferta d'aquests productes ha incrementat significativament (Lee i Hwang, 2016). Aquest increment és en bona part degut a la percepció de molts consumidors de que els productes ecològics són més saludables, més saborosos i més respectuosos amb el medi ambient, és a dir, que tenen una qualitat més elevada (Dinis *et al.*, 2011; Rana i Paul, 2017; Hwang i Chung, 2019). No obstant, els estudis científics realitzats fins el moment no han sigut conclouents en determinar que aquests productes siguin realment més beneficiosos per a la salut, en comparació amb els convencionals (Nutrimedia, 2019). Malgrat això, nombrosos estudis demostren que els consumidors estan disposats a pagar més diners pels productes ecològics (Loureiro i Hine, 2002; Maguire *et al.*, 2004; Brugarolas *et al.*, 2005; Zander i Hamm, 2010; Skreli *et al.*, 2017), i sembla raonable pensar que també ho puguin fer per altres qualitats com ara l'origen o la tradició; i de fet, alguns estudis apunten en aquesta direcció (Carpio i Isengildina-Massa, 2009; Grebitus *et al.*, 2013; Balogh *et al.*, 2016; Miller *et al.*, 2017). Per tant, les tendències de mercat actuals demostren que un sector ampli dels consumidors prefereixen productes d'elevada qualitat, i en aquest cas, el preu no sembla un factor limitant (Grunert, 2002).

El nivell de qualitat percebuda per els consumidors representa, doncs, un valor afegit en els productes agrícoles, i els atributs que la conformen poden jugar un paper clau en el preu final d'aquests, el que suposa en molts casos una sortida més rendible per als productors.

1.1.1 La qualitat sensorial

La **qualitat sensorial** o qualitat percebuda a través dels sentits, és també un concepte complicat de definir, ja que no està lligat únicament a les propietats intrínseques d'un aliment, sinó que és el resultat de la interacció entre aquest i el consumidor (Casañas i Costell, 2006). Les persones utilitzen tots els seus sentits per avaluar els objectes i entre ells els aliments, des de la vista, fins a l'olfacte i el gust, però també el tacte i l'oïda. De fet, el consumidor integra tots els inputs sensorials – aparença, aroma, gust, textura, tacte a la mà i a la boca, soroll al mastegar, etc. – per a fer-ne una valoració final de l'acceptabilitat (Abbott, 1999).

Quan un individu ingereix un aliment es genera un impuls nerviós i s'envia un flux d'informació cap al cervell, que genera diferents tipus de resposta a l'estímul: una identificació objectiva de la percepció (p. ex. és dolç), una reacció subjectiva-afectiva (p. ex. m'agrada/no m'agrada), i/o una resposta emocional (p. ex. em recorda a les vacances d'estiu). L'avaluació sensorial, doncs, tracta tots aquests tipus de resposta: la mesura objectiva de les propietats sensorials d'un aliment (punt de vista del producte) i la mesura subjectiva dels individus (punt de vista del consumidor), així com el vincle entre ambdós punts de vista (Meilgaard *et al.*, 2007; Civille i Oftedal, 2012).

L'avaluació objectiva de la qualitat sensorial, es fa mitjançant l'**anàlisi sensorial**, que és “la ciència relacionada amb l'avaluació dels atributs organolèptics (sensorials) d'un producte mitjançant els sentits” (ISO 5492:2008). La necessitat de mesurar la qualitat sensorial dels aliments es va posar de manifest a mitjans del passat segle XX, amb l'expansió i tecnificació de la indústria alimentària, però no va ser fins a la dècada dels 70 i dels 80 quan es va consolidar la tècnica de l'anàlisi sensorial, reconeixent-se com a disciplina a nivell acadèmic i industrial, i es va popularitzar el seu ús. Avui en dia, gràcies a la normalització de la metodologia i al desenvolupament de nous mètodes d'avaluació i de tractament de les dades, l'anàlisi sensorial s'ha convertit en una eina imprescindible dins l'avaluació de la qualitat (Costell i Duran, 1981; Costell, 2011).

Els mètodes d'anàlisi sensorial es poden classificar en tres grans grups: (1) les *proves descriptives*, que tracten de descriure i mesurar els atributs sensorials d'una mostra; (2) les *proves discriminants*, en que es compara si certes mostres són o no diferents entre elles; i (3) les *proves d'acceptació* o *afectives*, que avaluen el grau de preferència o satisfacció, i es fan mitjançant tastos de consumidors (Romero del Castillo, *et al.*, 2010). L'anàlisi sensorial descriptiu, és un mètode analític, que es fa mitjançant un panel de tast, en que els avaluadors que el duen a terme són tastadors que han estat prèviament entrenats, i que requereix d'una metodologia i un lèxic normalitzat i consensuat pels panelistes (Meilgaard *et al.*, 2007).

Per a alguns productes processats com són el vi, l'oli d'oliva, o el formatge, l'estudi dels atributs organolèptics està molt desenvolupat i fa anys que existeixen metodologies normalitzades per al seu anàlisi sensorial (Amerine i Roessler, 1976; FIL, 1997; Talavera-Bianchi i Chambers, 2008; Etaio *et al.*, 2010; IOOC, 2018). També en els últims anys s'ha produït un important avenç en l'anàlisi sensorial de la fruita, com és el cas de la poma (Corollaroa *et al.*, 2013), el pomelo (Rosales i Suwonsichon, 2015) o el préssec (Belisle *et al.*, 2017), així com de productes hortícoles, encara que en menor mesura, com en el cas de la patata (Thybo i Martens, 1998; Montouto-Grana *et al.*, 2002), el tomàquet (Díaz de León-Sánchez *et al.*, 2009) o la mongeta (Romero del Castillo *et al.*, 2008).

En l'actualitat, un cop es tenen les necessitats nutritives bàsiques cobertes, la gent menja principalment allò que més li agrada, el que fa que la qualitat sensorial sigui un dels principals valors dels productes alimentaris (Verain *et al.*, 2016). Segons Magnusson i col·laboradors (2001) el gust és el criteri més important

per als consumidors suecs, i el mateix resultat es va obtenir en un estudi realitzat a Noruega (Wandel i Bugge, 1997). Segons Simões i col·laboradors (2008), per als consumidors portuguesos, el gust conjuntament amb l'aparença són els dos atributs més importants a l'hora de triar en la compra de pomes i peres. En el cas d'Oman, el gust i la dolçor són els dos atributs de qualitat més importants a l'hora de valorar la fruita, i de fet la majoria dels consumidors estarien disposats a pagar fins a un 25% extra per assegurar una bona qualitat de la fruita en el moment de la compra (Opara *et al.*, 2007). Malgrat la qualitat sensorial interna és un valor que només es pot apreciar un cop menjat el producte, i que per tant el consumidor no pot avaluar abans de realitzar la compra, si que condiciona la fidelització del consumidor per repetir en la seva elecció.

Avui en dia, però, hi ha una percepció per part dels consumidors que el sabor de les fruites i hortalisses s'ha anat deteriorant en els darrers temps (Bartoshuk i Klee, 2013). Però, és real aquesta percepció? Els caràcters sensorials i nutricionals (de la mateixa manera que la resta de caràcters), són el resultat de la interacció entre el genotip i l'ambient. Els canvis que s'han produït a partir de la revolució verda en aquests dos factors (genètics i ambientals) han afectat negativament a aquests atributs. Com que el principal objectiu de la millora científica va ser incrementar la producció (tant de manera directa com indirecta, per exemple augmentant la resistència a estressos), es van obviar en el disseny dels idiotips altres atributs de qualitat, possiblement perquè són caràcters difícils de treballar ja que presenten herència poligènica. A més, generalment, el rendiment i la qualitat estan negativament correlacionats. Això s'explica en part per l'anomenat "efecte dilució", que fa referència a la menor concentració de determinats compostos que es produeix quan s'incrementa la quantitat de matèria vegetal que produeix una planta. Per altre banda, i a nivell de canvis ambientals, "l'efecte dilució" també s'ha donat per l'increment de rendiment causat per el canvi en les tècniques de cultiu (fertilització, reg, etc.) (Davis, 2009; Davis, 2011).

En el cas concret de la qualitat sensorial s'hi ha de sumar, a nivell genètic, i especialment en les fruites i hortalisses que es mengen fresques, la selecció que s'ha fet per a la conservació postcollita, que en molts casos ha comportat la modificació de la ruta metabòlica de l'etilè, alterant els processos de maduració. Per altre banda, en relació a les causes ambientals, la tendència a collir abans del punt òptim de maduració, per assegurar una vida útil més llarga i una major resistència del fruit al transport, impossibilita l'aportació de nutrients de la planta al fruit durant les últimes fases de maduració, el que afecta clarament a la qualitat sensorial.

En horticultura, l'exemple paradigmàtic de la pèrdua de qualitat és el tomàquet, que és una de les hortalisses menys valorades pels consumidors respecte a la seva qualitat organolèptica, i des de fa més de 50 anys es succeeixen les queixes d'aquests sobre el perfil sensorial dels tomàquets comercialitzats (Kramer, 1980; Hobson, 1988; Bruhn *et al.*, 1991). Al tomàquet s'hi pot aplicar totes les causes exposades anteriorment per explicar la pèrdua de qualitat sensorial i nutricional que s'ha produït. Aquest és un tema molt extens, i més enllà de les referències citades se'n pot trobar més informació a la revisió realitzada per Morris i Sands (2006) o en el llibre "*Breeding for Quality*" (Jenks i Babeli, 2011).

1.1.2 La qualitat nutricional

El **valor nutricional** d'un aliment ve determinat per la composició d'elements necessaris per al creixement i el correcte desenvolupament d'un individu (Barrett *et al.*, 2010). La **qualitat nutricional** dels productes agrícoles depèn de la quantitat de macronutrients – hidrats de carboni, proteïnes i greixos – i de micronutrients – vitamines, elements minerals, àcids grassos i aminoàcids essencials – que proporcionen (Cámara, 2006). Dins la qualitat nutricional, també s'hi podria incloure la qualitat nutricèutica. L'investigador Stephan DeFelice, l'any 1989, va inventar la paraula nutricèutic com una contracció entre les paraules nutrició i farmacèutic, i s'utilitza per designar un aliment o part d'un aliment que proporciona beneficis mèdics per a la salut, com la prevenció i/o el tractament de malalties (Sociedad Española de Nutracéutica Médica, 2019).

Des d'un punt de vista químic, els productes hortícoles es caracteritzen per ser rics en aigua (és el component majoritari, que pot arribar a ser superior a un 90%), pobres en proteïna i lípids (tot i que hi ha algunes excepcions, com per exemple els llegums que poden presentar fins a un 30% de proteïna), i amb un contingut variable de carbohidrats (Vicente *et al.*, 2009). Però a més, els productes hortofructícoles són una font important de fibra dietètica, vitamines, minerals i antioxidants (Kader, 2008; Barrett *et al.*, 2010).

Nombrosos estudis recolzen els beneficis que aporta el consum de fruites i hortalisses, associant-ho a la reducció del risc de patir certes malalties o l'endarreriment de l'envelliment (Vicente *et al.*, 2009). De fet, darrerament, hi ha hagut una tendència generalitzada en l'increment del consum de fruites y hortalisses principalment per les seves propietats beneficioses per la salut (Huxley *et al.*, 2004). La població sembla que ha pres consciència dels efectes de la seva dieta sobre la salut, pel què la qualitat nutricional ha passat a ser també un criteri important en la compra. Per exemple, diverses enquestes han demostrat que el motiu principal per a comprar aliments de producció ecològica és la salut, ja que els consumidors creuen que aquests són més sans (Magnusson *et al.*, 2001), com ja s'ha comentat a l'*apartat 1.1*. Això també ha suposat un canvi en la indústria agroalimentària, amb l'augment de la producció de fruites i verdures mínimament processades (Günes i Turan, 2017), o d'aliments funcionals (Señorans *et al.*, 2006).

La qualitat nutricional dels productes hortícoles és, però, molt variable, depenent entre d'altres, de l'espècie, la varietat, les condicions de cultiu i de postcollita, etc. (Hounsome *et al.*, 2008). També cal tenir en compte, que el fet de cuinar implica un canvi significatiu en les propietats fisicoquímiques d'un aliment, donant lloc a canvis en la consistència, el gust, l'olor i el color, i modificacions en el contingut nutricional (Bongoni, 2013), qüestió que en molts estudis no es té en consideració. Per exemple, la cocció pot afectar dràsticament el contingut i el comportament dels polifenols en els vegetals, i consegüentment influenciar la seva activitat antioxidant (Bernaert *et al.*, 2014).

Un altre factor a considerar és que no tots els nutrients que s'ingereixen són aprofitats per l'organisme. La **bioaccessibilitat** es refereix a la quantitat de nutrients disponibles a l'intestí per ser transportats a les cèl·lules, mentre que quan es parla de la quantitat que finalment és aprofitada es refereix a la **biodisponibilitat** (Ribas-Agustí *et al.*, 2018). La informació disponible sobre els valors nutricionals dels aliments que es troba a les bases de dades, podria estar sobreestimada, ja que no es té en consideració la bioaccessibilitat ni la biodisponibilitat d'aquests (Barba *et al.*, 2017). La bioaccessibilitat s'avalua mitjançant metodologies *in vitro*, mentre que la biodisponibilitat es sol estimar mitjançant mètodes *in vivo* d'anàlisis dels metabòlits en sang i/o orina. La simulació d'una digestió *in vitro* és molt comú en la investigació alimentària per estudiar la bioaccessibilitat; és un mètode segur i que no està subjecte a restriccions ètiques com en el cas de les tècniques *in vivo* (Carbonell-Capella *et al.*, 2014; Motilva *et al.*, 2015).

1.2 Les varietats tradicionals: valorització de l'agricultura local

Les **varietats tradicionals**, també anomenades varietats locals, varietats del país o *landraces* en anglès, són aquelles que de manera col·loquial s'entenen com “de sempre” o “de tota la vida”, típiques d'una determinada zona. De fet, la majoria de les varietats locals porten el nom de la població o inclús de la casa d'on són originàries. No obstant, la definició de varietat tradicional ha creat certa controvèrsia, i ha evolucionat al llarg del temps. El primer a introduir aquest terme va ser von Rümker (1908), i el seu ús es va popularitzar a partir dels anys 20 per designar aquelles varietats que havien evolucionat sense una selecció sistemàtica, a diferència de les varietats modernes que començaven a aparèixer com a fruit de l'aplicació de la genètica al camp de la millora (Berg, 2009). Diverses definicions de les varietats tradicionals s'han publicat fins a l'actualitat, diferint principalment en la seva inalterabilitat, evolució o selecció (Zeven, 1998; Villa *et al.*, 2005). Recentment, Casañas i col·laboradors (2017) van proposar definir el concepte de varietat tradicional com a “aquelles varietats cultivades que han evolucionat i poden seguir evolucionant mitjançant l'ús de tècniques de millora, tant convencionals com modernes, en cultius tradicionals o moderns, dins d'una àrea ecogeogràfica definida, sota la influència cultural de la zona”. Aquesta interpretació posa èmfasi en el paper humà i les condicions ambientals locals en l'evolució de les varietats tradicionals.

Més enllà de la definició, la majoria d'autors coincideixen en que les varietats tradicionals porten associades certes característiques. La principal d'aquestes característiques és la seva adaptació a les condicions locals, tant a les condicions ambientals com als sistemes tradicionals de cultiu, que solen ser de baixos inputs. Les varietats tradicionals són genèticament diverses i solen ser resilients, encara que no gaire productives. Donada l'enorme variabilitat ambiental que hi ha sobre la terra (especialment si s'inclou el factor humà i les seves tradicions de maneig dels cultius), les varietats tradicionals solen tenir una identitat reconeguda associada a una localització específica i a un origen històric (Harlan, 1975; Villa *et al.*, 2005).

Des de l'inici de l'agricultura i durant segles, les varietats tradicionals han estat l'herència de les generacions passades d'agricultors, el resultat de successives seleccions més o menys conscients i la base principal de la producció agrícola. La incorporació, però, dels coneixements de la genètica en els processos de selecció va accelerar el ritme del canvi. A la vegada, la utilització de més energia, especialment procedent del petroli, per modificar l'entorn on es cultiva (labors del camp, adobs, pesticides, plaguicides, herbicides, hivernacles, etc.), va permetre homogeneïtzar els ambients i disminuir el nombre de varietats que s'utilitzaven. Aquesta situació, en part, també es va veure afavorida perquè les noves varietats amb gran demanda eren les més rendibles per a les empreses productores de llavors. El fet és que les varietats tradicionals van començar a ser substituïdes per les varietats modernes, homogènies i molt més productives amb la consegüent pèrdua d'agrobiodiversitat (Harlan, 1975; Dwivedi *et al.*, 2016).

Malgrat a la dècada dels 60 es va arribar a assumir que les varietats tradicionals desapareixerien inevitablement amb el temps, aquestes van continuar tenint un rol important en la producció agrícola, en concret, en aquells ambients marginals on les varietats modernes perdien la seva competitivitat, o en nínxols de mercat especialitzats amb demandes de valor afegit, o en agricultura de subsistència (Villa *et al.*, 2005). A més, les varietats tradicionals també s'han anat associant a sistemes de cultiu alternatius com ara l'agricultura ecològica (Gibson, 2009; Negri *et al.*, 2009).

Per corregir l'anomenada erosió genètica (com s'ha esmentat, la introducció de les varietats modernes va suposar una gran pèrdua d'agrobiodiversitat), a mitjans de segle passat, gràcies a iniciatives tant públiques com privades, es va començar a col·lectar i conservar varietats tradicionals arreu del món (Gepts, 2006; van de Wouw *et al.*, 2009). Segons l'últim informe sobre l'estat dels recursos fitogenètics, existeixen més de 1.750 bancs de germoplasma al món, que conserven *ex situ* 7,4 milions d'entrades (FAO, 2010). No obstant, una gran part del germoplasma conservat no està caracteritzat, en especial pel que fa a atributs de qualitat, el que dificulta que aquest s'utilitzi, ni pel seu cultiu, ni com a font de variabilitat en programes de millora (Díez *et al.*, 2018).

Per tal d'afavorir el desenvolupament rural a partir de la promoció de les varietats tradicionals més prestigioses (les que han pogut competir amb èxit amb les varietats millorades o que tenen aptituds per poder-hi competir), o de productes que en deriven, la Unió Europea va crear l'any 1992 els anomenats segells geogràfics de qualitat. La distinció d'Indicació Geogràfica Protegida (IGP), juntament amb la Denominació d'Origen Protegida (DOP) i l'Especialitat Tradicional Garantida (ETG) conformen el sistema de **segells europeus de qualitat diferenciada** de productes agroalimentaris que tenen per objectiu afavorir la competitivitat econòmica de petits i mitjans agricultors o transformadors, com a eina per al desenvolupament rural (Tolón i Lastra, 2009). D'aquests segells, els de la IGP i la DOP són els que certifiquen productes vinculats a un territori, i es diferencien en que la DOP exigeix que totes les fases del procés de producció de l'aliment es realitzin dins el territori en qüestió, mentre que la IGP exigeix que com a mínim una de les etapes de producció es dugui a terme dins el territori al que s'associa. En l'actualitat, a Europa

hi ha aprovats un total de 1.449 segells de qualitat agroalimentària, dels quals el 44,1% són DOP, el 51,7% són IGP i tan sols un 4,2% són ETG (DOOR, 2019). A Catalunya, actualment, hi ha 12 DOP i 10 IGP, predominant les DOP d'oli d'oliva verge (5 DOP) (MAPA, 2019).

Els segells de qualitat ajuden al consumidor a reduir incerteses sobre la qualitat dels productes (van Rijswijk i Frewer, 2008), per tant, els segells de DOP o IGP són una eina útil per promoure la conservació de les varietats tradicionals, mitjançant la promoció de la seva comercialització, per tal de fer de les varietats tradicionals una alternativa rendible a les varietats modernes, adaptades a amplies zones de cultiu. És el cas del préssec DOP *Melocotón de Calanda*, que per tal d'augmentar la seva demanda a llarg termini s'ha proposat desenvolupar una promoció de la marca basant-se en la seva alta qualitat organolèptica (Groot i Albisu, 2016). En un estudi realitzat per Dinis i col·laboradors (2011) es va observar que els consumidors estaven disposats a pagar un preu més elevat per varietats tradicionals de poma de Portugal, que per les pomes de varietats foranes, considerant que la resta d'atributs que valoraven fossin iguals. L'origen és també un atribut que els consumidors tenen en compte a l'hora de realitzar la compra, i encara que depèn del producte, en general, els productes locals són més apreciats quan es tracta de productes hortofructícoles frescos (Moser *et al.*, 2011).

El creixent interès per part dels consumidors per la qualitat dels aliments, incloent-hi la qualitat sensorial i nutricional, i l'associació de que els cultius tradicionals tenen una major qualitat, ha resultat en una major demanda de productes amb característiques ben definides, en relació a la composició i l'origen, és a dir, informació perquè els consumidors coneguin allò que compren. Aquesta situació s'ha utilitzat per a la revaloració de productes típics, com és el cas de la ceba *Cipolla di Giarratana* o el tomàquet de llarga conservació a Itàlia (Siracusa *et al.*, 2013), o les varietats tradicionals de *kale* (*Brassica oleracea* ssp. *acephala*) (Giambanelli *et al.*, 2016).

1.3 El rol de les varietats tradicionals en l'obtenció d'hortalisses d'elevada qualitat

Ja s'ha exposat que algunes varietats tradicionals tenen valors sensorials i nutricionals elevats, juntament amb una considerable resiliència en l'entorn en el qual han evolucionat. En contrapartida presenten una producció més baixa que les varietats millorades (sovint molt més baixa) i una gran sensibilitat a les plagues i patologies de nova introducció (aquelles que no havien interactuat amb elles durant el seu procés evolutiu). Pel que fa a les varietats modernes, aquestes presenten una alta productivitat i responen bé a ambients de cultiu amb alts inputs (molt adob, reg, tractaments herbicides, etc.), però en canvi no solen tenir una bona qualitat sensorial (excepte l'aparença externa, en part conseqüència d'una millor conservació postcollita) ni nutricional.

Quan es planteja doncs, com fer millora encarada a l'increment de la qualitat es pot enfocar de dues maneres diferents: (a) partir de varietats tradicionals d'elevada qualitat i corregir-ne els seus defectes

productius i de sensibilitat a plagues i malalties, o bé, (b) partir de varietats modernes, i incrementar-ne la seva qualitat, utilitzant en aquest cas les varietats tradicionals com a font de variabilitat.

L'elecció d'una via o altra per incrementar la qualitat dependrà de diferents consideracions, com per exemple la base genètica de cada caràcter en concret. En la majoria dels casos, atributs com el gust i l'aroma són caràcters poligènics, el que en dificulta la millora (Ulrich i Olbricht, 2011). A més a més, en general, els caràcters de qualitat han estat molt menys estudiats a nivell genètic, en comparació amb altres tipus de caràcters com les resistències a patògens vegetals (Llácer *et al.*, 2006). No obstant, en els últims anys hi ha hagut importants avenços en aquest camp, amb la identificació de QTLs (*Quantitative Trait Loci*) associats a caràcters relacionats amb la qualitat sensorial, que podrien ser utilitzats com a marcadors en programes de millora (Tsukazaki *et al.*, 2012; Morris i Taylor, 2019).

També cal considerar l'avantatge cultural que presenten les varietats tradicionals, doncs algunes són àmpliament reconegudes pels consumidors, que n'aprecien les seves característiques. En aquest cas, partir d'elles per corregir-ne els defectes té un avantatge competitiu respecte a l'obtenció d'una nova varietat millorada, ja que els consumidors les reconeixen més fàcilment com a bones.

Però l'obtenció d'hortalisses de qualitat no només passa per la millora genètica. La qualitat nutricional i sensorial de les plantes ve determinada tant per factors genètics com ambientals, així com la interacció entre ambdós (Allard, 1999). Per tant, una altra via per a la millora de la qualitat seria treballar sobre la modificació de les condicions de cultiu (reg, fertilització, cicle de cultiu, etc.).

1.4 Dificultats metodològiques en la determinació de la qualitat nutricional i sensorial

La determinació del valor sensorial dels aliments presenta una sèrie de limitacions lligades als mètodes usats en l'anàlisi sensorial, ja que per una banda, el registre de caràcters és un procés lent i laboriós, i per l'altra, la quantitat de mostra necessària és elevada. Tot això fa que a efectes pràctics, l'anàlisi d'un nombre elevat de mostres sigui inviable, el que dificulta l'avaluació de paràmetres sensorials en el control de la qualitat, o en programes de millora (Costa *et al.*, 2011; Plans *et al.*, 2014; Magwaza i Opara, 2015). A més a més, s'hi ha de sumar el component humà, doncs la sensibilitat sensorial d'una persona es pot veure afectada per molts factors. Per exemple, en l'anàlisi de la textura, la resposta sensorial als estímuls mecànics d'un aliment no és lineal i es pot veure afectada per la fatiga, l'adaptació o el nivell d'entrenament dels tastadors (Peleg, 2006; Bárcenas *et al.*, 2007).

Establir correlacions entre paràmetres químics/físics i sensorials pot facilitar l'avaluació de la qualitat sensorial. De fet, com a aproximació per determinar la dolçor en productes hortícoles s'ha utilitzat àmpliament el contingut en sòlids solubles, així com diferents índex en què s'utilitzen conjuntament el contingut de sòlids solubles i l'acidesa titulable (Magwaza i Opara, 2015). Altres exemples es troben en la

revisió bibliogràfica feta per Chen i Opara (2013), on s'exposen les diferents tècniques de mesura instrumental de la textura en els aliments, incloent-hi mètodes destructius i no destructius.

Pel que fa a l'anàlisi de la qualitat nutricional, les metodologies analítiques de determinació de compostos majoritaris estan ben establertes, però són lentes, laborioses, requereixen d'una quantitat gran de mostra (encara que menys que en l'anàlisi sensorial) i reactius, i en general són mètodes destructius i que estan poc automatitzats (Maquieira i Puchades, 2006). En la indústria hortofructícola, en el control de qualitat, es solen utilitzar mostres representatives de cada lot o remesa per mesurar els atributs que es controlen, malgrat la gran variabilitat que poden presentar les fruites i hortalisses. Això, sumat als inconvenients que presenten els mètodes tradicionals d'anàlisi, ha propiciat un creixent interès en la recerca de mètodes alternatius per la mesura de la qualitat, tècniques que presentin com avantatge una major rapidesa o que les mesures siguin no-destructives (Magwaza i Opara, 2015).

1.5 L'espectroscòpia d'infraroig proper com a eina per al fenotipat ràpid

1.5.1 L'espectroscòpia d'infraroig i la quimiometria

L'**infraroig** (IR), o radiació infraroja, és la part de l'espectre electromagnètic que comprèn l'interval de longituds d'ona des de 780 nm fins a 1.000.000 nm, és a dir, una longitud d'ona més llarga que la llum visible, però més curta que la radiació de microones. Dins la regió de l'infraroig es poden diferenciar tres zones: l'infraroig proper, entre 780-2.500 nm (NIR, *Near InfraRed*), l'infraroig mitjà, entre 2.500-25.000 nm (MIR, *Mid InfraRed*) i l'infraroig llunyà, entre 25.000-1.000.000 nm (FIR, *Far InfraRed*).

El descobriment de l'IR, al segle XIX, s'atribueix a Sir Frederick William Herschel, qui va demostrar que la radiació de la llum existia més enllà de l'espectre visible (Ciurczak, 2001), però no va ser fins a la primera meitat del segle XX, que es van començar a desenvolupar mètodes analítics basats en l'IR, inicialment enfocats a la regió MIR (Rabkin, 1987). La recerca en el NIR es va desenvolupar més lentament, degut a que es considerava una regió molt confusa pels nombrosos solapaments de pics, fent-ne l'assignació a compostos específics molt complexa, en contraposició de la regió MIR. A més a més, els equips dels que es disposava no permetien el registre continu de l'espectre i per altra banda, en aquella època era molt complicat emmagatzemar i tractar grans volums de dades. Això, però, va canviar a partir de mitjan dels anys 70 quan van aparèixer els nous equips d'espectre complet i sobretot gràcies a l'avenç en el camp de la informàtica amb l'aparició dels microprocessadors i dels primers ordinadors personals, que van agilitzar i incrementar la capacitat de càlcul (Noble 1995; Bahadure, 2010). La radiació NIR presenta com principal avantatge respecte la radiació MIR que penetra molt més en la mostra (Lin *et al.*, 2009).

L'**espectroscòpia d'infraroig** és una tècnica que aprofita la mesura d'absorbància d'una mostra en diferents freqüències quan aquesta és exposada a un feix de radiació electromagnètica de l'infraroig

(Shermann, 1997). La radiació NIR penetra a la mostra i és absorbida selectivament segons les freqüències de vibració específiques de les molècules, produint un espectre que depèn de la composició de la mostra (López *et al.*, 2013).

En l'espectroscòpia NIR s'utilitzen diferents mètodes de mesura, segons el tipus de mostra amb el què es vulgui treballar (Figura 2): (1) la reflectància, que es basa en la mesura de la radiació reflectida per la mostra quan incideix sobre ella la radiació i s'utilitza principalment amb mostres sòlides; (2) la transmitància, en que es mesura la radiació que travessa la mostra i s'utilitza majoritàriament per mostres líquides; (3) la transflectància, que és l'efecte combinat de la reflectància i la transmitància, en que es mesura la llum que traspasa la mostra i és reflectida per un reflector col·locat a la part oposada de la mostra, s'utilitza per emulsions, mostres líquides o viscoses tèrboles; i (4) la interactància, en que es mesura només la reflectància difusa de la mostra, i s'utilitza per a mostres grans, com per exemple fruites senceres (Blanco i Villarroya, 2002; Bergera *et al.*, 2006).

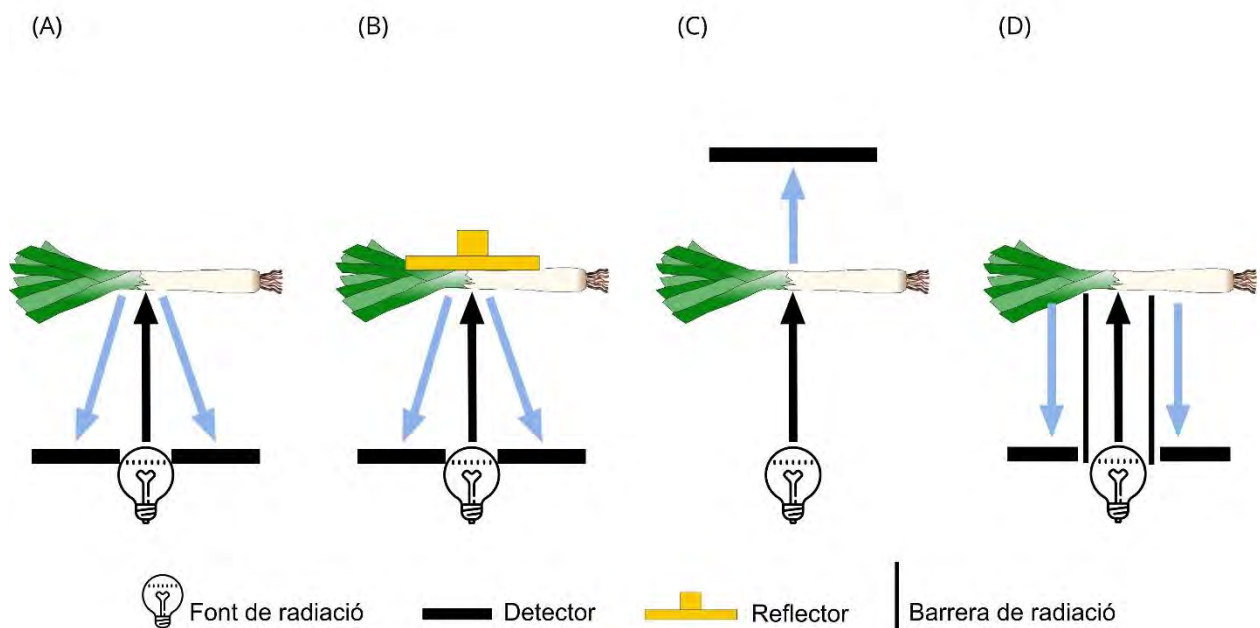


Figura 2. Mètodes de registre en l'espectroscòpia NIR. (A) reflectància, (B) transflectància, (C) transmitància, (D) interactància.

La informació analítica que contenen les bandes del NIR, però, és poc selectiva i influenciable per variables físiques, químiques i estructurals, per això, és necessari fer calibratges per tal d'obtenir models i utilitzar-

los en anàlisis quantitatives o qualitatives. Aquests models es desenvolupen a partir de la informació espectral obtinguda de l'espectroscòpia NIR al relacionar-la, mitjançant la **quimiometria**, amb la composició fisicoquímica obtinguda a partir d'un mètode de referència.

La quimiometria és, doncs, el conjunt de mètodes matemàtics que s'utilitzen per extreure informació química útil d'un conjunt de dades. Comprèn un rang ampli de mètodes que inclouen el pretractament de les dades espectrals, el desenvolupament de models de calibratge d'anàlisi quantitativa i qualitativa, i la transferència de models (Cen & He, 2007). Les tècniques utilitzades en la quimiometria es poden classificar en dos grans grups: per una banda, les anàlisis qualitatives, que s'utilitzen per agrupar les mostres en factors o classes, i per altra banda, les anàlisis quantitatives, que són les que busquen les relacions entre variables contínues. Per al fenotipat ràpid de caràcters relacionats amb la qualitat, que són principalment caràcters quantitius, s'empren anàlisis quantitatives. Un dels mètodes d'anàlisi quantitativa més utilitzat per al desenvolupament de models de predicció NIR és la Regressió parcial per mínim quadrats (PLS, *Partial Least Squares*) (López *et al.*, 2013; Nicolai *et al.*, 2017), amb un pretractament previ de les dades espectrals, per tal de millorar els subseqüents models. Els mètodes principals utilitzats per al pretractament de les dades espectrals són la correcció de la dispersió i la derivació dels espectres (Rinnan *et al.*, 2009).

Esquemàticament, el procés per desenvolupar un model de predicció seria el següent (Figura 3):

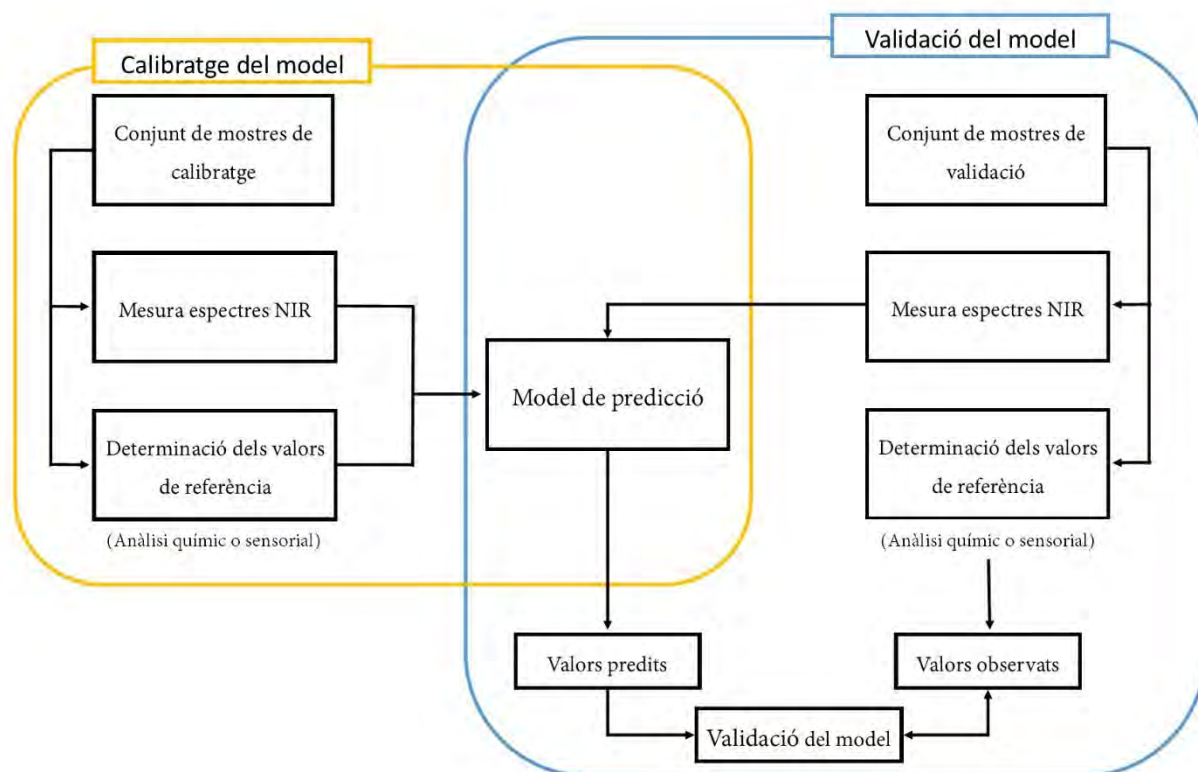


Figura 3. Procés de calibratge i validació d'un model de predicció NIR.

L'espectroscòpia NIR és una tècnica molt versàtil ja que permet el registre de mostres en estat sòlid, líquid o gasós. A més a més, presenta certes avantatges en comparació amb els mètodes analítics convencionals: és possible la determinació simultània de diferents paràmetres de qualitat (tècnica multi-analit), rapidesa i baix cost de l'anàlisi (una vegada es disposa dels models de predicció), té una elevada precisió, pot predir tant paràmetres físics com químics, és un mètode no destructiu amb les mostres i sovint no és necessari el pretractament d'aquestes, i no utilitza reactius ni produeix residus. Es tracta d'una tècnica que s'utilitza des de fa temps en diversos sectors com el farmacèutic, el petroquímic, l'agroalimentari o el biomèdic (Blanco i Villarroya, 2002; Xiaobo *et al.*, 2010).

1.5.2 Aplicacions en productes agroalimentaris

L'espectroscòpia NIR ha estat àmpliament utilitzada en el sector agroalimentari, tant en recerca, com a nivell industrial (Kuhwijiitjaru, 2018). El primer ús en agricultura va ser per mesurar el grau d'humitat en cereals (Norris, 1964), mentre que en horticultura, una de les primeres aplicacions va ser la determinació del contingut de matèria seca en cebes (Birth *et al.*, 1985). Com ja s'ha comentat, gràcies als avenços tecnològics, en els anys 70 i 80 del segle passat va haver-hi un apogeu en l'aplicació d'aquesta tecnologia, i en aquella època es va investigar principalment el seu ús per mesurar continguts en proteïna, midó, greix i fibra (Davies i Grant, 1987; McClure, 1994; Lin *et al.*, 2009). De fet, l'any 1982 l'Associació Americana de Química dels Cereals (*American Association of Cereal Chemists*, AACC) va acceptar el NIR com a mètode per l'anàlisi del gra (Osborne i Fearn, 1986) i fins al dia d'avui, les aplicacions d'aquesta tecnologia han estat molt variades. Això queda palès en el gran nombre de treballs científics que es publiquen any rere any al voltant d'aquesta tecnologia. Segons la revisió realitzada per Khuwijiitjaru (2018), a finals de 2017 el nombre total de publicacions que incloïen “*espectroscòpia d'infraroig proper*” ascendia a 28.720 documents a la base de dades Scopus, amb un increment anual des del 2012 de més de 2.000 publicacions per any, i s'estima que gairebé un quart de les publicacions corresponen a l'àmbit agroalimentari.

L'espectroscòpia NIR és una de les tècniques més avançades per a l'avaluació de la qualitat (Magwaza *et al.*, 2011), de les més utilitzades en anàlisi de control rutinari en el sector agroalimentari (Ritter, 2005), i en l'actualitat reconeguda per l'anàlisi químic i nutricional de tot tipus d'aliments (Williams 2001; Blanco i Villarroya, 2002). Nombroses revisions s'han publicat sobre l'ús d'aquesta tècnica en productes com la carn (Prieto *et al.*, 2009), productes làctics (Karoui i de Baerdemaeker, 2007), i fruites i hortalisses (Butz *et al.*, 2005; Nicolai *et al.*, 2007; López *et al.*, 2013), entre d'altres.

En productes hortofruccícoles, en les últimes dècades, un dels usos més estesos del NIR ha estat com a mètode no destructiu per a la predicció del contingut de sòlids solubles, com a aproximació de la dolçor (Magwaza i Opara, 2015), però també ha estat molt utilitzat per a la determinació del contingut en matèria seca, acidesa, pH o sucres (Nicolai *et al.*, 2007). Segons Cen i He (2007) components amb concentracions d'un

0,1% es poden detectar i avaluar mitjançant el NIR. No obstant, les bandes d'absorció de l'aigua dominen l'espectre de fruites i hortalisses, el que dificulta que components minoritaris es puguin mesurar correctament (Nicaolai *et al.*, 2007). Val a dir, però, que l'espectroscòpia NIR s'ha utilitzat en diverses ocasions per a la determinació de compostos minoritaris com és el cas del contingut en carotenoides en la patata (Bonierbale *et al.*, 2009) o compostos fenòlics i volàtils en l'oli d'oliva (Inarejos-García *et al.*, 2013).

La tecnologia NIR també s'ha utilitzat per a la predicció d'atributs sensorials, encara que en molta menor mesura, en comparació amb la predicció d'atributs químics (i entre ells els nutricionals). L'aplicació d'aquesta tècnica ha estat rellevant en el camp del vi (Cozzolino *et al.*, 2006; Cayuela, *et al.*, 2017), el cafè (Ribeiro *et al.*, 2011), l'oli d'oliva (Sinelli *et al.*, 2010), el formatge (Downey *et al.*, 2005; Karoui *et al.*, 2007; González-Martín *et al.*, 2011) o la carn i el peix (Hildrum *et al.*, 1994; Nilsen i Esaiassen, 2005; Andrés *et al.*, 2007).

En productes hortofructícoles també es troben estudis d'aplicació del NIR per l'estimació de caràcters sensorials, com és el cas de la patata, per estimar-ne la textura (Boeriu *et al.*, 1998; van Dijk *et al.*, 2002); en la xicoira per la dolçor, l'amargor i la textura (François 2008); en poma en que s'han estudiat fins a 15 atributs sensorials (Mehinagic *et al.*, 2003; Iwanami *et al.*, 2017); o en mongeta per l'avaluació del gust, l'aroma, i atributs de textura (Plans *et al.*, 2014).

Segona part: El calçot de Valls

2.1 El calçot i el seu cultiu

Els **calçots** són les tiges florals immadures de la **ceba** (*Allium cepa* L.), que apareixen durant el segon any del cicle vegetatiu. Aquest aprofitament de la ceba és típic de Catalunya, especialment de les comarques de Tarragona, encara que actualment el seu conreu s'ha estès a la resta del territori català.

L'inici del cultiu dels calçots es situa a finals del segle XIX, però fins a meitat del segle XX el seu consum estava relegat a les celebracions d'algunes famílies de la zona de Valls. Explica la llegenda, que un pagès de Valls, conegut com en "Xat de Benaiges", va descobrir els calçots al llençar a les brases uns brots tendres nascuts d'unes cebes velles, aquests es van cremar per fora, però van quedar tendres per dins. A mitjans del segle passat, les calçotades es van començar a popularitzar també a la resta de Catalunya, i fins i tot avui en dia a altres punts de la Península Ibèrica o a l'estranger.

Tradicionalment, el consum dels calçots s'associa a jornades festives, les calçotades, que sovint es realitzen a l'aire lliure, ja que la manera tradicional de cuinar-los és cremant-los al foc de sarments. Els calçots es solen menjar acompanyats de salsa romesco o salvitxada, feta a base d'ametlles, avellanes, nyores, tomàquet, all, vinagre i oli d'oliva (Lladonosa, 2005). No obstant, les tendències de consum estan canviant i la cuina del calçot s'està diversificant, anant més enllà del què són les calçotades. En són mostra els llibres de cuina que s'han publicat amb receptes que tenen el calçot com a protagonista (Jofre i Garcia, 1997; Segú, 2013; Romero del Castillo i Simó, 2015), així com els productes transformats que mica en mica es poden començar a trobar (Figura 4).



Figura 4. Productes transformats derivats del calçot.

El cultiu del calçot és biennal i consta de dues fases ben diferenciades, la primera anàloga al cultiu de la ceba seca, i la segona fase que correspon al cultiu del calçot pròpiament dit (**Figura 5**). Per a l'obtenció de calçots s'utilitza habitualment la **varietat tradicional de ceba Blanca Tardana de Lleida (BTL)**, malgrat que qualsevol varietat de ceba pot produir calçots, variant en nombre, morfologia i color (Simó *et al.*, 2014). La BTL és una varietat de dia intermedi i desenvolupament tardà, amb la pell externa i la polpa de color blanc, i que es caracteritza per ser dolça, tenir una baixa conservació postcollita i desenvolupar d'1 a més de 25 rebrots.

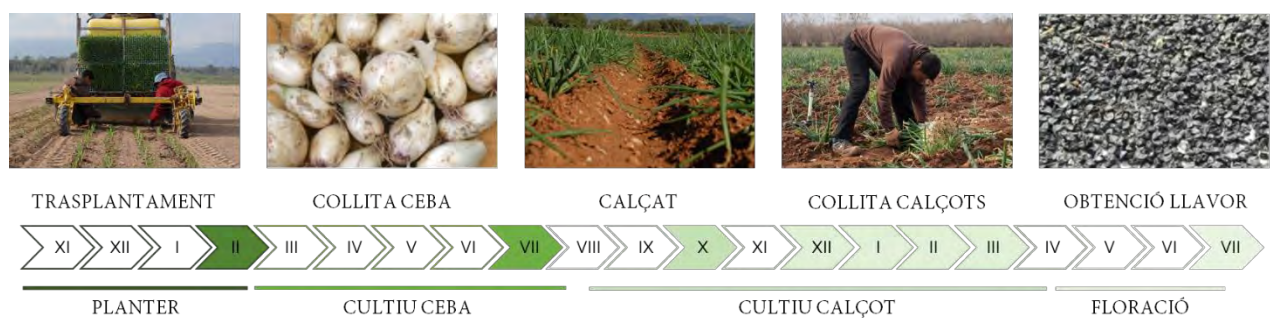


Figura 5. Diagrama del cicle de cultiu del calçot.

Les pràctiques de cultiu en el calçot són molt variades i difereixen entre productors, en aspectes com la data de plantació, el tipus de reg utilitzat o la maquinària emprada per les diferents tasques en el maneig. Un exemple d'això el trobem a l'inici del cultiu de la ceba, on alguns productors fan sembra directa i d'altres utilitzen planter. Els que fan sembra directa, sembren a finals de novembre, mentre que els planteristes sembren al desembre en safates dins hivernacle, amb fins a tres llavors per alvèol i amb una temperatura al voltant dels 20°C. Entre febrer i març, les plàntules es trasplanten a camp. Durant la primavera, les cebes es desenvolupen i a finals de juliol o principis d'agost, un cop les cebes ja han perdut les fulles, es recol·lecten i s'emmagatzemen en sacs o caixes, en un lloc sec i on la temperatura no sigui molt elevada. Aquestes cebes són el material de partida de la segona fase del cultiu.

A finals d'estiu (a partir del 15 d'agost i durant el mes de setembre), les cebes es tornen a plantar a camp, en un marc de plantació diferent al que s'havia utilitzat durant el cultiu de la ceba. Habitualment, s'utilitza un marc de plantació de 0,3 x 0,75 m, amb densitats de plantació al voltant de 32.000 cebes/ha, ja que es solen deixar passadissos amples per a deixar pas a la maquinària agrícola.

A principis de tardor, les cebes comencen a rebrotar i a mesura que aquests rebrots es desenvolupen, es van calçant amb terra, és a dir, s'enterren fins a mitja fulla per tal d'evitar la síntesi de clorofil·la i deixar la part inferior de color blanc, i amb el gust i textura que caracteritzen els calçots. L'operació de calçar és la que dóna nom a aquest cultiu.

Cap a final de novembre o principi de desembre, els calçots van assolint una mida comercial i és quan comença la temporada de collita, que s'allarga fins a setmana santa, malgrat que tradicionalment la temporada de calçot era entre febrer i març. Les plantes es cullen senceres i generalment de manera manual, pel que només es cullen aquelles plantes en que la majoria de calçots presenten una mida comercial (*veure apartat 2.2*), rebutjant-se la resta. Habitualment, els calçots es comercialitzen en manats de 25 o 50, lligats amb un cordill i amb la part superior de les fulles tallades.

La temporada del calçot finalitza quan la planta queda induïda a floració i s'inicia l'elongació de la tija floral (temperatura òptima de 25-30 °C), ja que el calçot es torna més fibrós i perd qualitat sensorial. En el cas que es volguessin obtenir llavors, es deixen desenvolupar les flors fins a finals de juny quan, una vegada pol·linitzades, són seques i es poden recol·lectar.

2.2 Importància econòmica: la IGP Calçot de Valls

Com a resposta a la demanda per part dels productors de la zona tradicional del cultiu dels calçots i per tal d'aconseguir un reconeixement adequat a la qualitat d'aquest producte, així com una protecció davant l'expansió que s'estava produint d'aquest cultiu en altres territoris, l'any 1994 es va aconseguir la "Denominació de Qualitat Calçot de Valls", atorgada per la Generalitat de Catalunya. Aquesta marca va servir com a preludi cap a la promoció d'una marca europea, que es va obtenir finalment l'any 2001: la IGP Calçot de Valls (Simó *et al.*, 2015). Amb aquest segell es va aconseguir situar els calçots a nivell europeu.

El reglament de la IGP Calçot de Valls, defineix una àrea de cultiu que engloba les comarques de l'Alt Camp, el Baix Camp, el Tarragonès i el Baix Penedès. Estableix que l'únic tipus varietal que es pot utilitzar per a la producció de calçots sota el segell de la IGP és la ceba BTL. A nivell morfològic, els calçots emparats per la IGP han de tenir una forma cilíndrica, sense engruiximent de la base i un calçot comercial ha de complir les següents mides: una longitud de part blanca d'entre 15 i 25 cm, i un diàmetre mesurat a 5 cm de l'arrel d'entre 1,7 i 2,5 cm. Els calçots produïts sota el segell de la IGP Calçot de Valls es diferencien per anar lligats amb un fil de color blau i dur una etiqueta identificadora amb el número del productor (DAAR, 2009).

La IGP Calçot de Valls està constituïda per una cinquantena de productors i, segons les estimacions fetes a partir de les etiquetes venudes durant les darreres campanyes, s'han certificat anualment al voltant de 15 milions de calçots (El Punt Avui, 2019). Comercialitzar sota el segell de la IGP Calçot de Valls sol comportar

una disminució en el rendiment, a causa de l'estricta control que es fa sobre la mida dels calçots comercials, que obliga a descartar part de la producció. L'aspecte positiu és que comercialitzar sota un segell de qualitat sol garantir un major preu percebut per part de l'agricultor, un increment que de mitjana estaria al voltant del 20% (Simó, 2013).

No existeixen dades oficials de la producció de calçots a Catalunya, ja que aquesta producció queda englobada dins la producció de ceba. Les úniques dades de les que es disposa són les facilitades per Mercabarna respecte als calçots que es venen dins el Mercat Central de Fruites i Hortalisses (MCFH), que s'estima que representen al voltant del 25% de la producció total (Simó, 2013). Prenent aquestes dades com a referència, a la **Figura 6** es mostra l'evolució de les vendes en les últimes 10 temporades. Si bé no hi ha una tendència clara en la producció de calçots, ja que hi ha hagut fortes oscil·lacions entre anys, en les tres últimes temporades la venda de calçots dins el MCFH ha estat superior als 14 milions d'unitats. També el preu per unitat ha experimentat fortes oscil·lacions de mitjana, patint per exemple un fort descens durant la temporada 2010-11, a causa d'una major oferta de producte. Cal destacar, però, que el preu també és molt variable dins d'una mateixa temporada, oscil·lant de mitjana mensual durant la campanya 2018-19 entre 0,09 i 0,14 €/unitat (MERCABARNA, 2019).

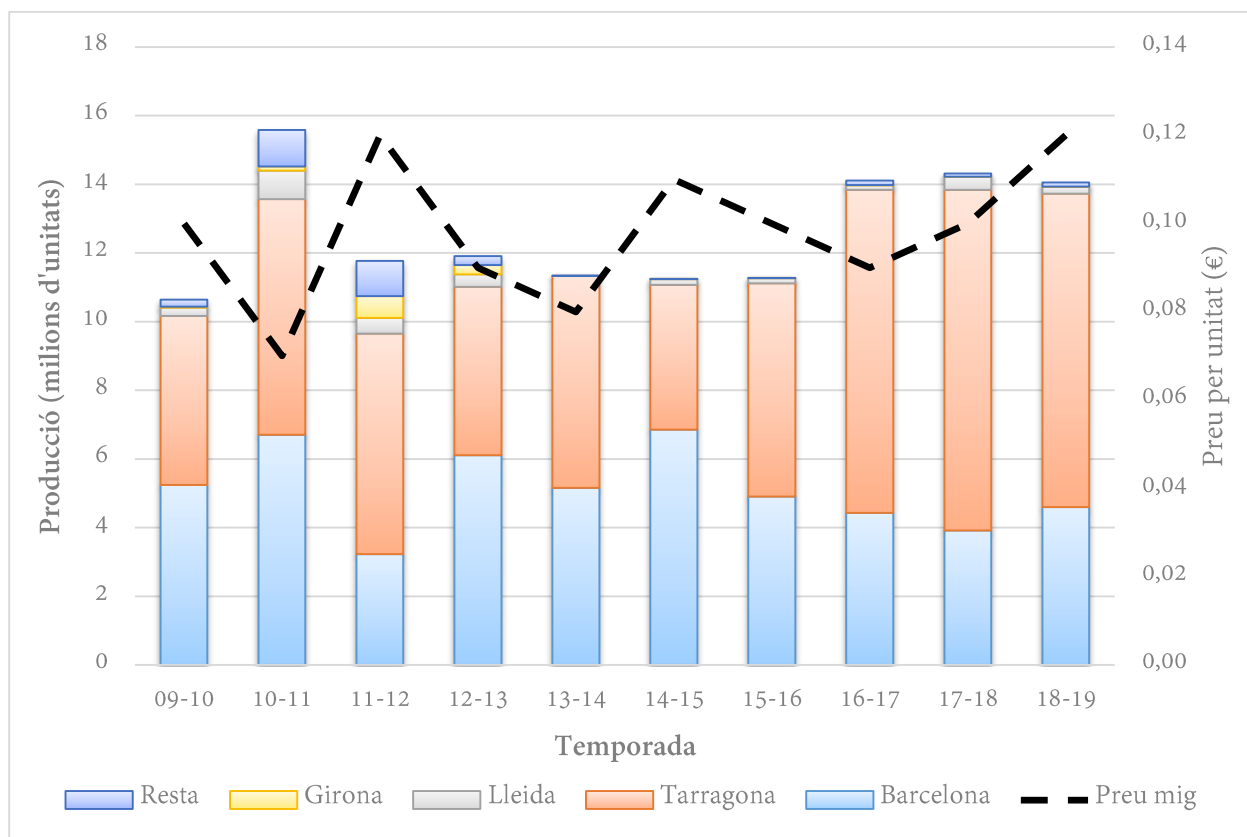


Figura 6. Evolució de les vendes i el preu mig per temporada dels calçots comercialitzats pel MCFH (MERCABARNA, 2019).

El mercat del calçot, però, no és aliè a les tendències actuals de comercialització de fruites i hortalisses fresques i evoluciona any rere any. Hi ha hagut un increment en les exportacions de calçots, en part per la popularització del producte, però també per l'aparició de botigues online, que permeten comprar calçots fàcilment des de casa. També ha incrementat la venda directa al consumidor final, així com la venda dels productors a minoristes i grans distribuïdors, sense passar per mercats majoristes com és el cas de Mercabarna (productors, comunicació personal). La part negativa és que aquesta bona "salut" que presenta el calçot, i en un sector on els productes amb una rendibilitat elevada no són gaire freqüents, ha atret productors d'altres zones, algunes amb costos de producció molt més baixos, fent que poc a poc el preu del calçot baixi respecte a anteriors temporades, amb la consegüent pèrdua de rendibilitat (Simó *et al.*, 2015).

2.3 "State of the art"

2.3.1 La recerca en el calçot

Tenint en compte el caràcter local del calçot, així com la curta història d'aquest cultiu (recordem que apareix a finals del segle XIX), la recerca al voltant d'aquest producte és relativament recent i escassa, en comparació amb altres cultius com el de la ceba. La Fundació Miquel Agustí (FMA) per a la conservació, millora i promoció de les varietats tradicionals agrícoles catalanes, treballa en la recerca sobre diversos aspectes dels calçots des de l'any 2006, arrel d'una demanda per part dels productors de la IGP Calçot de Valls. Aquests advertien una pèrdua de rendiment en el seus cultius, ja que el nombre de calçots produïts per mota (planta) havia disminuït dràsticament en pocs anys. Com a resposta, es va proposar un programa de millora genètica per revertir aquest procés.

Prèviament a que la FMA comencés a treballar en aquest cultiu, l'única recerca que s'havia fet al voltant del calçot, era la que havia realitzat el Dr. Pere Muñoz del Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA), centrada en l'estudi del rendiment i de la caracterització morfològica de diferents poblacions de calçot. Els resultats obtinguts posaven de manifest l'existència de variabilitat genètica i d'un fort efecte ambiental en la productivitat i la morfologia dels calçots (Muñoz *et al.*, 2003, 2006; Muñoz, 2011).

El fet de que no hi hagués pràcticament informació disponible sobre aquest cultiu, i la necessitat de desenvolupar un programa de millora, va propiciar que el Dr. Joan Simó desenvolupés la seva tesi doctoral enfocada al desenvolupament d'eines de selecció per al calçot, amb l'objectiu final d'obtenir nous cultivars més productius (Simó, 2013). Fruit d'aquesta feina, es van publicar els 5 primers articles científics, en revistes indexades, del cultiu del calçot i es van desenvolupar dues noves varietats (*veure apartat 2.3.2*) (Simó *et al.*, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2014).

Per altra banda, a partir de l'any 2014, el grup de recerca de Fruïtes i Hortalisses Processades, dins el Programa de Postcollita de l'IRTA, es va afegir a la recerca del calçot i paral·lelament a la realització d'aquesta tesi doctoral, l'actual Dra. Lorena Zudaire va desenvolupar part del seu doctorat amb aquest producte, estudiant-ne la postcollita i avaluant estratègies per al desenvolupament de productes mínimament processats (Zudaire, 2018).

2.3.2 La millora genètica del calçot

La ceba és una espècie de reproducció al·lògama, diploide ($2n = 16$) i de pol·linització majoritàriament entomòfila. El sistema que garanteix la pol·linització creuada en la ceba és la protàndria, en què la dehiscència de les anteres de les flors es produeix quan els estigmes encara no estan madurs (Currah, 1990). No obstant, els límits de l'al·logàmia no són estrictes, i en la ceba, la protàndria actua com una barrera parcial. De fet, s'estima que en condicions normals de cultiu entre el 75-90% de les llavors es produeixen per pol·linització creuada, mentre que la resta es produeixen per autofecundació (Brewster, 2008).

Les poblacions de ceba, pel fet de reproduir-se fonamentalment per pol·linització creuada, com passa amb les demás espècies al·lògames, són majoritàriament heterozigòtiques i presenten variabilitat fenotípica, així com al·lells deleteris recessius (Berninger i Buret 1967) que no són filtrats per la selecció a causa de trobar-se en heterozigosi i per tant, no manifestar-se fenotípicament. De fet, la ceba presenta una forta depressió consanguínia amb un descens molt gran de la fertilitat passades dos o més generacions d'autofecundació (Jones i Davis, 1944).

Històricament, la millora de la ceba s'ha basat en la generació de varietats de pol·linització oberta a través de selecció en massa (Dowker, 1990). Actualment, en canvi, i gràcies a l'obtenció de línies amb androesterilitat citoplasmàtica i l'avenç en l'obtenció de dobles haploides, les empreses dedicades a l'obtenció i comercialització de llavors millorades s'han centrat, majoritàriament, en el desenvolupament d'híbrids (Bohanec, 2002; McCallum, 2007).

Tradicionalment, els productors de calçot han utilitzat poblacions locals de la varietat tradicional de ceba BTL, que mai havien estat sotmeses a un programa de millora genètica. Per tal de revertir el descens de la producció que havia experimentat el cultiu, se'n va desenvolupar un enfocament principalment a augmentar el nombre de calçots per mota, que va finalitzar amb l'obtenció de dues noves varietats sintètiques (Simó *et al.*, 2012a).

En el marc del mateix programa de millora, es va establir un idiotip tant a nivell agronòmic com sensorial: a nivell agronòmic, es va establir un rendiment òptim d'entre 8 i 12 calçots comercials per planta i homogeneïtat en l'assoliment de la mida comercial dels calçots, tant entre plantes, com dins una mateixa planta; a nivell sensorial, es va definir el calçot ideal com aquell que presenta una elevada dolçor, una baixa percepció de fibrositat i absència de gustos estranys (Simó *et al.*, 2012b; Simó i Sans, 2015).

En la primera fase del programa de millora, es van estudiar a nivell agronòmic, morfològic i sensorial, 16 poblacions de BTL recollides en la zona històrica de cultiu. D'aquestes poblacions se'n van escollir les 10 que més s'apropaven a l'idiotip establert, per tal d'utilitzar-les com a població base. Com que hi havia suficient variabilitat en el material de partida, no va ser necessari realitzar encreuaments amb materials externs per crear nova variabilitat. Finalitzats el diversos cicles de selecció (Figura 7), i com a resultat del programa de millora, es van obtenir dues noves varietats sintètiques: una varietat de producció primerenca (Roquerola) que presentava un 320% més de producció al gener, i una varietat de producció tardana (Montferri) amb un 116% més de producció al març, respecte a la població de partida. A més a més, durant el procés de millora la qualitat sensorial respecte a la població de partida es va mantenir pràcticament igual (Simó *et al.*, 2012a).

Cal destacar que, en l'actualitat, la IGP Calçot de Valls utilitza majoritàriament la varietat Montferri en els seus cultius (productors IGP, comunicació personal).

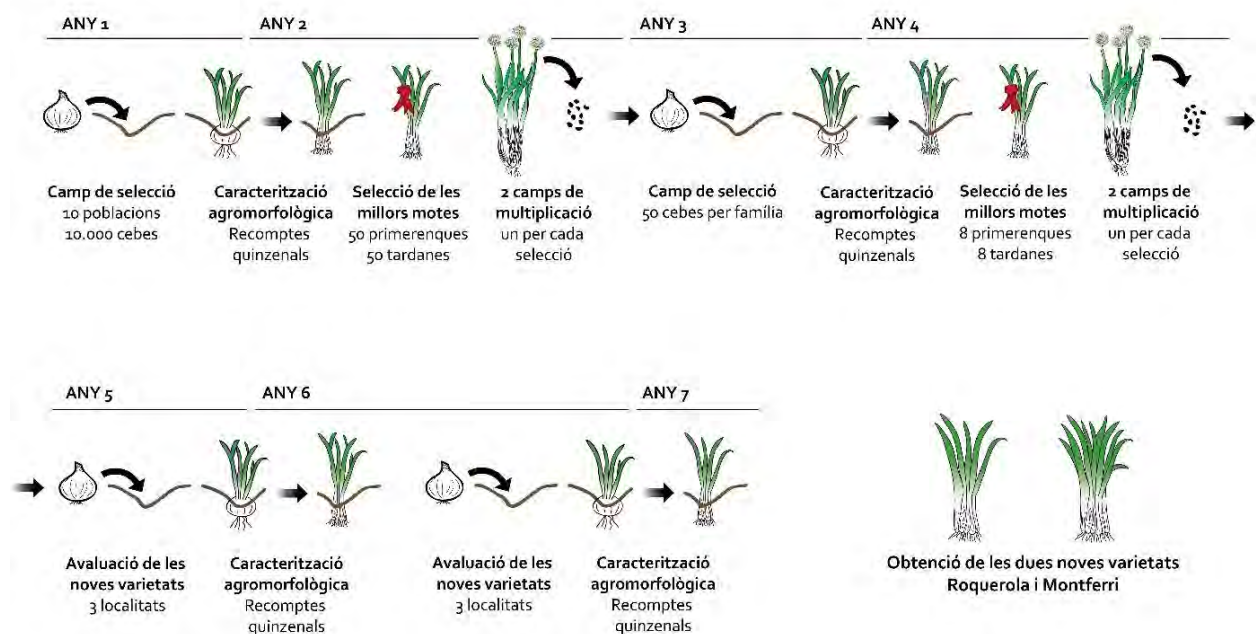


Figura 7 Esquema del programa de millora utilitzat per obtenir les noves varietats de calçot: Roquerola i Montferri (Simó i Sans, 2015).

2.3.3 La qualitat sensorial i nutricional del calçot

Tal i com s'ha exposat prèviament, en els últims anys, la demanda de productes de qualitat per part dels consumidors ha anat en augment. Els consumidors són cada vegada més conscients del que mengen, i es preocupen per la sostenibilitat dels processos productius, així com per l'impacte que té el que consumeixen sobre la seva salut. També posen en valor la traçabilitat del producte, donant un valor afegit a aquells productes que són de proximitat. A dia d'avui, tal i com s'ha comentat anteriorment, el calçot no és una hortalissa de consum diari, sinó que habitualment es reserva per a ocasions marcades, consumint-se principalment en calçotades en jornades festives, fet que també fomenta que els consumidors busquin un producte de qualitat.

Ja s'ha dit que a nivell sensorial, el calçot ideal és aquell que presenta una elevada dolçor, una baixa percepció de fibrositat i absència de gustos estranys (Simó *et al.*, 2012b). A nivell nutricional, sembla evident que interessa incrementar al contingut en aquells compostos que siguin beneficiosos per a la salut i disminuir el contingut d'aquells que puguin tenir efectes nocius.

La informació sobre la qualitat nutricional de la que es disposa en el calçot és molt escassa, però si que es troba molta informació referent a la ceba. La ceba, com la resta d'espècies del gènere *Allium*, és una font important de nutrients (Lanzotti, 2006). Entre aquests, destaquen els metabòlits secundaris amb una forta activitat antioxidant, com els compostos polifenòlics, essent la ceba la font majoritària de flavonoides a la dieta europea, tant per l'alt contingut que presenta d'aquests compostos, com per la freqüència de consum d'aquesta hortalissa (Hertog *et al.*, 1992; Bernaert *et al.*, 2014; Ren *et al.*, 2017). De fet, la ceba és la segona hortalissa més consumida a nivell mundial, tan sols superada pel tomàquet (FAOSTAT, 2019).

Nombroses investigacions destaquen efectes beneficiosos sobre la salut dels compostos presents a la ceba, que poden tenir efectes protectors contra diferents patologies degeneratives, com malalties cardiovasculars o neurològiques, càncer o altres disfuncions basades en l'estrès oxidatiu (Griffiths *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2005; Lanzotti, 2006; Pérez-Gregorio, 2010). No obstant, la concentració d'aquests compostos varia notablement segons la varietat, les condicions ambientals o la fase de desenvolupament (Rodrigues *et al.*, 2011). Malgrat que en la majoria d'estudis que es troben a la literatura s'estudia la ceba crua, Sharma i col·laboradors (2015) van estudiar l'efecte de la temperatura en diferents atributs nutricionals de sis varietats de ceba, determinant, entre d'altres, que el contingut en sucres disminuïa amb els tractaments tèrmics, mentre que el contingut de fenols totals i l'activitat antioxidant augmentava amb tractaments de fins a 120°C.

Per a l'avaluació de la qualitat sensorial, es disposa d'un protocol de preparació de les mostres i una metodologia de tast, en que s'avaluen els tres caràcters de major rellevància en aquest producte: la dolçor, la fibrositat i els gustos estranys (Simó *et al.*, 2012a). Per a l'avaluació de la qualitat nutricional s'han establert protocols analítics per la determinació de contingut en fenols totals i flavonoides, l'avaluació de l'activitat

antioxidant, així com l'estudi de la bioaccessibilitat d'aquests compostos (Zudaire *et al.*, 2017). En canvi, la tecnologia NIR no s'ha emprat mai en calçot, però sí en ceba crua, principalment per a la determinació del contingut en matèria seca i el contingut en sòlids solubles (Birth *et al.*, 1985; Wang *et al.*, 2013a, 2013b; Jantra *et al.*, 2017), però també per a la determinació de quercetina, fenols totals i l'activitat antioxidant (Lu *et al.*, 2011a, 2011b).

Referències

A

- Abbott, J.A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15(3), 207–25. doi: 10.1016/S0925-5214(98)00086-6
- Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. New York, USA, John Wiley & Sons.
- Amerine, M. A., & Roessler, E. B. (1976). *Wines: their sensory evaluation*. San Francisco, USA, W.H. Freeman & Co.
- Andres, S., Murray, I., Navajas, E. A., Fisher, A. V, Lambe, N. R., & Bunger, L. (2007). Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, 76(3), 509–516. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.01.011

B

- Bahadure, N. B. (2010). *Microprocessors: 8086/8088, 80186/80286, 80386/80486 and the Pentium family*. New Delhi, India, PHI Learning Private Limited.
- Balogh, P., Békési, D., Gorton, M., Popp, J., & Lengyel, P. (2016). Consumer willingness to pay for traditional food products. *Food Policy*, 61, 176–184. doi: 10.1016/j.foodpol.2016.03.005
- Barba, F. J., Mariutti, L. R. B., Bragagnolo, N., Mercadante, A. Z., Barbosa-Cánovas, G. V., Orlien, V. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 195-206. doi: 10.1016/j.tifs.2017.07.006
- Bárcenas, P., Pérez-Elortondo, F. J., Albisu, M., Mège, J., Roseiro, L. B., Scintu, M. F., Torre, P., Loygorri, S., & Lavanchy, P. (2007). An international ring trial for the sensory evaluation of raw ewes' milk cheese texture. *International Dairy Journal*, 17, 1139–1147. doi: 10.1016/j.idairyj.2006.12.012
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369-389. doi: 10.1080/10408391003626322
- Bartoshuk, L. M., & Klee, H. J. (2013). Better Fruits and Vegetables through Sensory Analysis. *Current Biology*, 23(9), R374–R378. doi: 10.1016/j.cub.2013.03.038
- Belisle, C., Adhikari, K., Chavez, D., & Phan, U. T. X. (2017). Development of a lexicon for flavor and texture of fresh peach cultivars. *Journal of Sensory Studies*, 32, e12276. doi: 10.1111/joss.12276
- Berg, T. (2009). Landraces and folk varieties: a conceptual reappraisal of terminology. *Euphytica*, 166(3), 423–430. doi: 10.1007/s10681-008-9829-8
- Bergera, G., Jarén, C., Arazuri, S., & Arana, I. (2006). Instrumentación para la espectroscopía de infrarrojo cercano. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, 194, 30-33.
- Bernaert, N., de Loose, M., van Bockstaele, E., & van Droogenbroeck, B. (2014). Antioxidant changes during domestic food processing of the white shaft and green leaves of leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1168–1174. doi: 10.1002/jsfa.6389
- Berninger, E. & Buret, P. (1967) Étude des déficients chlorophylliens chez deux espèces cultivées du genre *Allium*: l'oignon *A. cepa* L. et le poireau *A. porrum* L. *Annales de l'Amélioration des Plantes* 17, 175–194.
- Birth, G. S., dull, G. G., renfroe, W. T., & Kays, S. J. (1985). Nondestructive spectrophotometric determination of dry-matter in onions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110(2), 297–303.

- Blanco, M., & Villarroya, I. (2002). NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 240–250. doi: 10.1016/S0165-9936(02)00404-1
- BOE-A-2015-8563, 2015. Ley 28/2015, de 30 de julio, para la defensa de la calidad alimentaria.
- Boeriu, C. G., Yuksel, D., de Vries, R. V. V., Stolle-Smits, T., & van Dijk, C. (1998). Correlation between near infrared spectra and texture profiling of steam cooked potatoes. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 6, A291-A297. doi: 10.1255/jnirs.210
- Bohanec, B. (2002). Double-haploid onions. A: H. D. Rabinowitch & L. Currah (Eds.), *Allium Crop Science: Recent Advances* (pp. 145–157). Wallingford, UK: CAB International.
- Bonany, J., Brugger, C., Buehler, A., Carbó, J., Codarin, S., Donati, F., Echeverria, G., Egger, S., Guerra, W., Hilaire, C., Höller, I., & Iglesias, I. (2014). Preference mapping of apple varieties in Europe. *Food Quality and Preference*, 32(C), 317-329. doi: 10.1016/j.foodqual.2013.09.010
- Bongoni, R., Steenbekkers, L. P. A., Verkerk, R., van Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. (2013). Studying consumer behaviour related to the quality of food: A case on vegetable preparation affecting sensory and health attributes. *Trends in Food Science & Technology*, 33(2), 139-145. doi: 10.1016/j.tifs.2013.08.004
- Bonierbale, M., Grüneberg, W., Amoros, W., Burgos, G., Salas, E., Porras, E., & Felde, T. Z. (2009). Total and individual carotenoid profiles in *Solanum phureja* cultivated potatoes: II. Development and application of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibrations for germplasm characterization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 509–516. doi: 10.1016/j.jfca.2008.08.009
- Bourn, D., & Prescott, J. (2002). A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(1), 1-34. doi: 10.1080/10408690290825439
- Brewster, J. L. (2008). *Onion and other vegetable alliums*. Wallingford, UK, CAB International.
- Brugarolas M., Martínez-Carrasco L., Martínez-Poveda A., & Rico M. (2005). Determination of the surplus that consumers are willing to pay for an organic wine. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 43-51. doi: 10.5424/sjar/2005031-123
- Bruhn, C. M., Feldman, N., Garlitz, C., Harwood, J., Ivans, E., Marshall, M., Riley, A., Thurber, D., & Williamson, E. (1991). Consumer perceptions of quality - apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes. *Journal of Food Quality*, 14: 187-195. doi: 10.1111/j.1745-4557.1991.tb00060.x
- Butz, P., Hofmann, C., & Tauscher, B. (2005). Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. *Journal of Food Science*, 70(9), R131–R141. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb08328.x

C

- Cámara, M. (2006). Calidad nutricional y salud. In: G. Llácer, M.J. Díez, J.M. Carrillo, M.L. Badenes (Eds.), *Mejora genética de la calidad en plantas*. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frigola, A. (2014). Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(2), 155–171. doi: 10.1111/1541-4337.12049

- Carpio, C. E., & Isengildina-Massa, O. (2009). Consumer Willingness to Pay for Locally Grown Products: The Case of South Carolina. *Agribusiness*, 25(3), 412–426. doi: 10.1002/agr.20210
- Casañas, F., & Costell, E. (2006). Calidad organoléptica. In: G. Llácer, M.J. Díez, J.M. Carrillo, M.L. Badenes (Eds.), *Mejora genética de la calidad en plantas*. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- Casañas, F., Simo, J., Casals, J., & Prohens, J. (2017). Toward an Evolved Concept of Landrace. *Frontiers in Plant Science*, 8. doi: 10.3389/fpls.2017.00145
- Cayuela, J. A., Puertas, B., & Cantos-Villar, E. (2017). Assessing wine sensory attributes using Vis/NIR. *European Food Research and Technology*, 243(6), 941–953. doi: 10.1007/s00217-016-2807-9
- Cen, H., & He, Y. (2007). Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 72–83. doi: 10.1016/j.tifs.2006.09.003
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. *Food Research International*, 51(2), 823–835. doi: 10.1016/j.foodres.2013.01.046
- Cicerale, S., Liem, G., & Keast, R. S. J. (2016). Consumer Perception, Attitudes, Liking and Preferences for Olive Oil. A: M. Boskou, & D. Clodoveo (Ed.), *Products from Olive Tree* (pp. 157–171). Rijeka, Croatia, Intech Europe.
- Ciurczak, E. W. (2001). Principles of NIR spectroscopy. In: D. A. Burns, & E. W. Ciurczak (Eds.), *Handbook of Near-Infrared Analysis* (pp. 8 – 9). Boca Raton, USA, CRC Press.
- Civille, G. V., & Oftedal, K. N. (2012). Sensory evaluation techniques - Make “good for you” taste “good”. *Physiology & Behavior*, 107(4), 598–605. doi: 10.1016/j.physbeh.2012.04.015
- Corollaro, M. L., Endrizzia, I., Bertolini, A., Apreaa, E., Luisa Demattè, M., Costaa, F., Biasioli, F., & Gasperia, F. (2013). Sensory profiling of apple: Methodological aspects, cultivar characterisation and postharvest changes. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 111–120. doi: 10.1016/j.postharvbio.2012.10.010
- Costa, F., Cappellin, L., Longhi, S., Guerra, W., Magnago, P., Porro, D., Soukoulis, C., Salvi, S., Velasco, R., & Biasioli, F. (2011). Assessment of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology*, 61, 21–28. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.02.006
- Costell, E. (2011). El análisis sensorial: situación actual y perspectivas. *Primeras Jornadas de la Asociación Española de Profesionales del Análisis Sensorial*.
- Costell, E., & Durán, L. (1981). El análisis sensorial en el control de calidad de los alimentos. I. Introducción. *Revista Española de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos*, 21(1), 1-10.
- Cozzolino, D., Smyth, H. E., Lattey, K. A., Cynkar, W., Janik, L., Damberg, R. G., Francis, L., & Gishen, M. (2006). Combining mass spectrometry based electronic nose, visible-near infrared spectroscopy and chemometrics to assess the sensory properties of Australian Riesling wines. *Analytica Chimica Acta*, 563(1–2), 319–324. doi: 10.1016/j.aca.2005.11.008
- Currah, L. (1990). Pollination biology. A: H. D. Rabinowitch & J. L. Brewster (Eds.), *Onions and Allied Crops* (pp. 135–149). Boca Raton, USA, CRC Press.

D

- DAAR (2009). Plec de condicions de la Indicació Geogràfica Protegida Calçot de Valls. Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural, Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries.

- Dagevos, H. (2005). Consumers as four-faced creatures. Looking at food consumption from the perspective of contemporary consumers. *Appetite*, 45(1), 32–39. doi: 10.1016/j.appet.2005.03.006
- Davies, A. M., & Grant, A. (1987). Review: near-infra-red analysis of food. *International Journal of Food Science & Technology*, 22, 191–207. doi: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb00479.x
- Davis, D. R. (2009). Declining Fruit and Vegetable Nutrient Composition: What Is the Evidence? *Hortscience*, 44(1), 15–19. doi: 10.21273/HORTSCI.44.1.15
- Davis, D. R. (2011). Impact of Breeding and Yield on Fruit, Vegetable, and Grain Nutrient Content. In: M. A. Jenks, & P. J. Bebeli (Eds.), *Breeding for fruit quality* (pp. 127-150). Chichester, UK, John Wiley & Sons, Inc.
- Díaz de León-Sánchez, F., Pelayo-Zaldívar, C., Rivera-Cabrera, F., Ponce-Valadez, M., Ávila-Alejandre, X., Fernández, F. J., Escalona-Buendía, H. B., & Pérez-Flores, L. J. (2009). Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 54(2), 93–100. doi: 10.1016/j.postharvbio.2009.07.003
- Díez, M. J., de la Rosa, L., Martín, I., Guasch, L., Cartea, M. E., Mallor, C., Casals, J., Simó, J., Rivera, A., Anastasio, G., Prohens, J., Soler, S., Blanca, J., Valcárcel, J. V., & Casañas, F. (2018) Plant Genebanks: Present Situation and Proposals for Their Improvement. the Case of the Spanish Network. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1794. doi: 10.3389/fpls.2018.01794
- Dinis, I., Simoes, O., & Moreira, J. (2011). Using sensory experiments to determine consumers' willingness to pay for traditional apple varieties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 351–362. doi: 10.5424/sjar/20110902-133-10
- DOOR (2019). Comisión Europea, Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible a: <http://ec.europa.eu/agriculture/quality/door/>. Darrer accés: 15/05/2019.
- Dowker, B. D. (1990). Onion Breeding. A: H. D. Rabinowitch & J. L. Brewster (Eds.), *Onions and Allied Crops* (pp. 215–232). Boca Raton, USA, CRC Press.
- Downey, G., Sheehan, E., Delahunty, C., O'Callaghan, D., Guinee, T., & Howard, V. (2005). Prediction of maturity and sensory attributes of Cheddar cheese using near-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal*, 15, 701-709. doi: 10.1016/j.idairyj.2004.06.013
- Dwivedi, S. L., Ceccarelli, S., Blair, M. W., Upadhyaya, H. D., Are, A. K., & Ortiz, R. (2016). Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science*, 21(1), 31–42. doi: 10.1016/j.tplants.2015.10.012

E

- El Punt Avui (2019). “Si el pagès es guanya la vida i el restaurant, també, tots contents”. Disponible a: <https://www.elpuntavui.cat/societat/article/5-societat/1568331>. Darrer accés: 22/04/2019.
- Etaio, I., Albisu, M., Ojeda, M., Gil, P. F., Salmerón, J. & Pérez-Elortondo, F. J. (2010). Sensory quality control for food certification: A case study on wine. Method development. *Food Control*. 21(4), 533–541. doi: 10.1016/j.foodcont.2009.08.013

F

- FAO (2010). The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. Disponible a: <http://www.fao.org/3/i1500e/i1500e00.htm>. Darrer accés: 11/02/2019.

- FAOSTAT (2019). Food and Agricultural Commodities Statistics. Disponible a: <http://faostat.fao.org/>. Darrer accés: 11/02/2019.
- FIL (1997). Evaluation sensorielle des produits laitiers par cotation: Méthode de référence. International Dairy Federation, 1-16.
- François, I. M., Wins, H., Buysens, S., Godts, C., Van Pee, E., Nicolai, B., & de Proft, M. (2008). Predicting sensory attributes of different chicory hybrids using physico-chemical measurements and visible/near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 366–373. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.02.011

G

- García, F. (2002) Análisis socioeconómico de la agricultura catalana. MAPA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Libro blanco de la agricultura y el desarrollo rural*, Jornada Autonómica de Cataluña, Barcelona. Disponible a: <http://www.libroblancoagricultura.com>. Darrer accés: 10/02/2019.
- Gepts, P. (2006). Plant genetic resources conservation and utilization. *Crop Science*, 46, 2278–2292. doi:10.2135/cropsci2006.03.0169gas
- Giambanelli, E., Verkerk, R., d'Antuono, L. F., & Oliviero, T. (2016). The kinetic of key phytochemical compounds of non-heading and heading leafy *Brassica oleracea* landraces as affected by traditional cooking methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4772–4784. doi: 10.1002/jsfa.7844
- Gibson, R.W. (2009). A review of perceptual distinctiveness in landraces including an analysis of how its roles have been overlooked in plant breeding for low-input farming systems. *Economic Botany*, 63, 242–255. doi: 10.1007/s12231-009-9086-3
- Gonzalez-Martin, M. I., Severiano-Perez, P., Revilla, I., Vivar-Quintana, A. M., Hernandez-Hierro, J. M., Gonzalez-Perez, C., & Lobos-Ortega, I. A. (2011). Prediction of sensory attributes of cheese by near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 127(1), 256–263. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.12.105
- Grebitus, C., Lusk, J. L., & Nayga, R. M. (2013). Effect of distance of transportation on willingness to pay for food. *Ecological Economics*, 88, 67–75. doi: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.006
- Griffiths, G., Trueman, L., Crowther, T., Thomas, B., & Smith, B. (2002). Onions - A global benefit to health. *Phytotherapy Research*, 16(7), 603–615. doi: 10.1002/ptr.1222
- Groot, E., & Albisu, L. M. (2016). Regular and sporadic consumers' preferences towards peaches with the PDO "Melocoton de Calanda". *ITEA-Informacion Tecnica Economica Agraria*, 112(3), 336–351. doi: 10.12706/itea.2016.021
- Grunert, K. G. (2002). Current issues in the understanding of consumer food choice. *Trends in Food Science & Technology*, 13(8), 275–285. doi: 10.1016/S0924-2244(02)00137-1
- Grunert, K.G. (2005), Food quality and safety: consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics*, 32 (3), 369-91.
- Günes, G., & Turan, D. (2017). New technologies and edible coatings for minimally processed and refrigerated (MPR) fruits and vegetables (fresh cuts and freshly squeezed juices). In: F. Yildiz, & R. C. Wiley (Eds.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. New York, USA, Springer.

H

- Harlan, J. R. (1975). Our vanishing genetic resources. *Science*, 188(4188), 618–621. doi: 10.1126/science.188.4188.617

- Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H., & Katan, M. B. (1992). Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(12), 2379–2383. doi: 10.1021/jf00024a011
- Hildrum, K. I., Nilsen, B. N., Mielnik, M., & Naes, T. (1994). Prediction of sensory characteristics of beef by near-infrared spectroscopy. *Meat Science*, 38(1), 67–80. doi: 10.1016/0309-1740(94)90096-5
- Hobson, G. (1988). How the tomato lost its taste. *New Scientist*, 119: 46-50.
- Hounsome, N., Hounsome, B., Tomos, D., & Edward-Jones, G. (2008). Plant metabolites and nutritional quality of vegetables. *Journal of Food Science*, 73(4), R48-R65. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00716.x
- Huxley, R. R., Lean, M., Crozier, A., John, J. H., & Neil, H. A. W. (2004). Effect of dietary advice to increase fruit and vegetable consumption on plasma flavonol concentrations: Results from a randomised controlled intervention trial. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58, 288-289. doi: 10.1136/jech.2003.014274
- Hwang, J., & Chung, J. E. (2019). What drives consumers to certain retailers for organic food purchase: The role of fit for consumers' retail store preference. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 47, 293–306. doi: 10.1016/j.jretconser.2018.12.005

I

- IDESCAT (2019). Institut d'Estadística de Catalunya. Disponible a: <https://www.idescat.cat/>. Darrer accés: 18/02/2019.
- Inarejos-Garcia, A. M., Gomez-Alonso, S., Fregapane, G., & Salvador, M. D. (2013). Evaluation of minor components, sensory characteristics and quality of virgin olive oil by near infrared (NIR) spectroscopy. *Food Research International*, 50(1), 250–258. doi: 10.1016/j.foodres.2012.10.029
- IOOC (2018). Sensory analysis of olive oil. Method for the assessment of virgin olive oil. COI/T.20/Doc. No 15/Rev. 10. International Olive Council.
- ISO 5492:2008. Vocabulary. International Organization for Standardization. Génève, Switzerland.
- Iwanami, H., Moriya, S., Okada, K., Abe, K., Kawamorita, M., Sasaki, M., Moriya-Tanaka, Y., Honda, C., Hanada, T., & Wada, M. (2017). Instrumental measurements of juiciness and freshness to sell apples with a premium value. *Scientia Horticulturae*, 214, 66–75. doi: 10.1016/j.scienta.2016.11.018

J

- Jantra, C., Slaughter, D. C., Liang, P. S., & Pathaveerat, S. (2017). Nondestructive determination of dry matter and soluble solids content in dehydrator onions and garlic using a handheld visible and near infrared instrument. *Postharvest Biology and Technology*, 133, 98–103. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.07.007
- Jenks, M. A., & Bebeli, P. J. (2011). *Breeding for fruit quality*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, Inc.
- Jofre, J., & Garcia, A. (1997). *La cuina del calçot*. Cossetània Edicions.
- Jones, H. A., & Davis, D. R. (1944). *Inbreeding and heterosis and their relation to the development of new varieties of onions* (Vol. 874). Washington, USA. U.S. Department of Agriculture.

K

- Kader, A. (2008). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863-1868. doi: 10.1002/jsfa.3293
- Karoui, R., & De Baerdemaeker, J. (2007). A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chemistry*, 102(3), 621-640. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.05.042
- Karoui, R., Pillonel, L., Schaller, E., Bosset, J. O., & de Baerdemaeker, J. (2007). Prediction of sensory attributes of European Emmental cheese using near-infrared spectroscopy: A feasibility study. *Food Chemistry*, 101(3), 1121-1129. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.03.012
- Khuwijitjaru, P. (2018). Near infrared spectroscopy research performance in food science and technology. *NIR News*, 29(3), 12-14. doi: 10.1177/0960336018763197
- Kramer, A. (1965). Evaluation of quality of fruits and vegetables, In: G. W. Irving, & S. R. Hoover (Eds), *Food Quality* (pp. 9-18). Washington, USA, American Association for the Advancement of Science.
- Kramer, M. (1980). Ruination of the tomato - how agribusiness squeezed the taste out. *Controlling Technology*, 245, 72-77.

L

- Lanzotti, V. (2006). The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography A*, 1112(1-2), 3-22. doi: 10.1016/j.chroma.2005.12.016
- Lee, H. J., & Hwang, J. (2016). The driving role of consumers' perceived credence attributes in organic food purchase decisions: A comparison of two groups of consumers. *Food Quality and Preference*, 54, 141-151. doi: 10.1016/j.foodqual.2016.07.011
- Lin, M., Rasco, B. A., Cavinato, A. G., & Al.Holy, M. (2009). *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*. Elsevier Inc.
- Llácer, G., Badenes, M. L., Díez, M. J., & Carrillo, J.M. (2006). La calidad de los productos agrícolas en el marco de la mejora genética actual. In: G. Llácer, M.J. Díez, J.M. Carrillo, M.L. Badenes (Eds.), *Mejora genética de la calidad en plantas*. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- Lladonosa, J. (2005). *El gran llibre de la cuina catalana*. Barcelona, España, Editorial Empúries.
- López, A., Arazuri, S., Garcia, I., Mangado, J., & Jaren, C. (2013). A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(23), 5413-5424. doi: 10.1021/jf401292j
- Loureiro, M. L., & Hine, S., (2002). Discovering niche markets: a comparison of consumer willingness to pay for local (Colorado grown), organic, and GMO-free products. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 34 (3), 477-487. doi:10.1017/S1074070800009251
- Lu, X., Ross, C. F., Powers, J. R., & Rasco, B. A. (2011a). Determination of Quercetins in Onion (*Allium cepa*) Using Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6376-6382. doi: 10.1021/jf200953z
- Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, H. M., Ross, C. F., Powers, J. R., Tang, J., & Rasco, B. A. (2011b). Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 129(2), 637-644. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.105

M

- Magnusson, M. K., Arvola, A., Hursti, U. K. K., Åberg, L., & Sjöden, P. O. (2001). Attitudes towards organic foods among Swedish consumers. *British Food Journal*, 103 (3), 209–227. doi: 10.1108/00070700110386755
- Magnusson, M. K., Arvola, A., Hursti, U. K. K., Åberg, L., & Sjöden, P. O. (2003). Choice of organic foods is related to perceived consequences for human health and to environmentally friendly behaviour. *Appetite*, 40(2), 109–117. doi:10.1016/S0195-6663(03)00002-3
- Maguire K., Owens N., & Simon N. (2004). The price premium for organic babyfood: a hedonic analysis. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 29(1), 132-149. Disponible a: <http://www.jstor.org/stable/40987236>. Darrer accés: 15/05/2019.
- Magwaza, L. S., & Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products-A review. *Scientia Horticulturae*, 184, 179–192. doi: 10.1016/j.scienta.2015.01.001
- Magwaza, L. S., Opara, U. L., Nieuwoudt, H., Cronje, P. J. R., Saeys, W., & Nicolai, B. (2011). NIR Spectroscopy Applications for Internal and External Quality Analysis of Citrus Fruit-A Review. *Food Bioprocess Technology*, 5(2), 425–444. doi: 10.1007/s11947-011-0697-1
- MAPA (2019). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible a: <https://www.mapa.gob.es/es/>. Darrer accés: 13/01/2019.
- Maquieira, A., & Puchades, R. (2006). Evaluación analítica de la calidad. In: G. Llácer, M.J. Díez, J.M. Carrillo, M.L. Badenes (Eds.), *Mejora genética de la calidad en plantas*. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- McCallum, J. (2007). Onion. A: C. Kole (Ed.), *Vegetables* (pp. 331–347). New York, USA, Springer.
- McClure WF (1994) Near-infrared spectroscopy. A: R. H. Wilson (Ed.), *Spectroscopic Techniques for Food Analysis* (pp. 13 – 52). New York, USA, VCH Publishers, Inc.
- Mehinagic, E., Royer, G., Bertrand, D., Symoneaux, R., Laurens, F., & Jourjon, F. (2003). Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible-NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars. *Food Quality and Preference*, 14(5–6), 473–484. doi: 10.1016/S0950-3293(03)00012-0
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory evaluation techniques*. Boca Raton, USA, CRC Press.
- MERCABARNA (2019). Estadístiques de productes. Disponible a: <https://www.mercabarna.es/serveis/estadistiques-productes/>. Darrer accés: 05/02/2019.
- Miller, S., Tait, P., Saunders, C., Dalziel, P., Rutherford, P., & Abell, W. (2017). Estimation of consumer willingness-to-pay for social responsibility in fruit and vegetable products: A cross-country comparison using a choice experiment. *Journal of Consumer Behaviour*, 16(6), E13-E25. doi: 10.1002/cb.1650
- Montouto-Grana, M., Fernandez-Fernandez, E., Vazquez-Oderiz, M. L., & Romero-Rodriguez, M. A. (2002). Development of a sensory profile for the specific denomination “Galician potato”. *Food Quality and Preference*, 13(2), 99–106. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00066-0
- Morris, C. E., & Sands, D.C. (2006). The breeder's dilemma - yield or nutrition? *Nature Biotechnology*, 24: 1078-1080. doi: 10.1038/nbt0906-1078
- Morris, W. L., & Taylor, M. A. (2019). Improving Flavor to Increase Consumption. *American Journal of Potato Research*, 96(2, SI), 195–200. doi: 10.1007/s12230-018-09702-7

- Moser, R., Raffaelli, R., & Thilmany-McFadden, D. (2011). Consumer Preferences for Fruit and Vegetables with Credence-Based Attributes: A Review. *International Food and Agribusiness Management Review*, 14(2), 121–141.
- Motilva, M. J., Serra, A., & Rubió, L. (2015). Nutrikinetic studies of food bioactive compounds: from *in vitro* to *in vivo* approaches. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66, S41-S52. doi: 10.3109/09637486.2015.1025721
- Muñoz, P. (2011). Fertilització de calçot en producció ecològica. Fitxa tècnica, 60. DAAM.
- Muñoz, P., Santos, O., Ballvé, A. & Matas, C. (2003). Resultados del proyecto de experimentación de seis cultivares de cebolla blanca tardía de Lleida utilizadas para el cultivo de calçot. *XXXIII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura*, 61-69.
- Muñoz, P., Santos, O., Ballvé, A. & Matas, C. (2006). Evaluación de diferentes cultivares de cebolla blanca tardía de Lleida utilizadas para el cultivo de calçot. *XXXVI Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura*.

N

- Negri, V., Maxted, N., & Veteläinen, M. (2009). European landrace conservation: an introduction. A: M. Veteläinen, V. Negri, and N. Maxted (Eds.), *European Landraces: on farm Conservation, Management and Use: Biodiversity Technical Bulletin no 15*. Rome, Italy, European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources.
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I. & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99-118. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.024
- Nilsen, H., & Esaiassen, M. (2005). Predicting sensory score of cod (*Gadus morhua*) from visible spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 38(1), 95–99. doi: 10.1016/j.lwt.2004.05.001
- Noble, D. (1995). Illuminating Near-IR. *Analytical Chemistry*, 67 (23), 735A-40A. doi: 10.1021/ac00119a729
- Norris, K.H. (1964). Design and development of a new moisture meter. *Agricultural Engineering*, 45, 370.
- Nutrimedia (2019). “No hi ha proves científiques que els aliments ecològics siguin més saludables que els convencionals”. Disponible a: https://www.upf.edu/recercaupf/-/asset_publisher/RVNxhLpxnc9g/content/id/223711053/maximized#.XSG-rej7SU. Darrer accés: 25/05/2019.

O

- Opara, L. U., Al-Said, F. A., & Al-Abri, A. (2007). Assessment of what the consumer values in fresh fruit quality: Case study of Oman. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(2), 235-243. doi: 10.1080/01140670709510190
- Osborne, B. G., & Fearn, T. (1986). *Near-Infrared Spectroscopy in Food Analysis*. New York, USA, Longman Scientific and Technical.

P

- Palma, M. A., Collart, A. J., & Chamoun, C. J. (2015). Information Asymmetry in Consumer Perceptions of Quality-Differentiated Food Products. *Journal of Consumer Affairs*, 49(3), 596–612. doi: 10.1111/joca.12053

- Peleg, M. (2006). On fundamental issues in texture evaluation and texturization—A view. *Food Hydrocolloids*, 20, 405–414. doi: 10.1016/j.foodhyd.2005.10.008
- Pérez-Gregorio, R. M., García-Falcón, M. S., Simal-Gándara, J., Rodrigues, A. S., & Almeida, D. P. F. (2010). Identification and quantification of flavonoids in traditional cultivars of red and white onions at harvest. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 592–598. doi: 10.1016/j.jfca.2009.08.013
- Plans, M., Simó, J., Casañas, F., del Castillo, R. R., Rodríguez-Saona, L. E., & Sabaté, J. (2014). Estimating sensory properties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by near infrared spectroscopy. *Food Research International*, 56(0), 55–62. doi: 10.1016/j.foodres.2013.12.003
- Prieto, N., Ross, D. W., Navajas, E. A., Nute, G. R., Richardson, R. I., Hyslop, J. J., Simm, G., & Roehe, R. (2009). On-line application of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical-physical and sensory characteristics of beef quality. *Meat Science*, 83(1), 96–103. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.04.005

R

- Rabkin, Y.M. (1987). Technological innovation in science: the adoption of infrared spectroscopy by chemists. *Isis*, 78, 31 – 54. doi: 10.1086/354329
- RAE (2019). Diccionario de la lengua Española. Disponible a: <https://dle.rae.es/>. Darrer accés: 11/02/2019.
- Rana, J., & Paul, J. (2017). Consumer behavior and purchase intention for organic food: a review and research agenda. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 38, 157-165. doi: 10.1016/j.jretconser.2017.06.004
- Ren, F., Reilly, K., Gaffney, M., Kerry, J. P., Hossain, M., & Rai, D. K. (2017). Evaluation of polyphenolic content and antioxidant activity in two onion varieties grown under organic and conventional production systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2982–2990. doi: 10.1002/jsfa.8138
- Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., & Elez-Martínez, P. (2018). Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2531-2548. doi: 10.1080/10408398.2017.1331200
- Ribeiro, J. S., Ferreira, M. M. C., & Salva, T. J. G. (2011). Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. *Talanta*, 83(5), 1352–1358. doi: 10.1016/j.talanta.2010.11.001
- Rinnan, Å., Berg, F. V. D., Engelsen, S. B. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28, 1201–1222. doi: 10.1016/j.trac.2009.07.007
- Ritter, S. K. (2005). An eye on food - Analytical instrumentation and assays serve as important tools to ensure quality and safety in the food and dairy industry. *Chemical & Engineering News*, 83(27), 28-34. doi: 10.1021/cen-v083n027.p028
- Rodrigues, A. S., Perez-Gregorio, M. R., Garcia-Falcon, M. S., Simal-Gandara, J., & Almeida, D. P. F. (2011). Effect of meteorological conditions on antioxidant flavonoids in Portuguese cultivars of white and red onions. *Food Chemistry*, 124(1), 303–308. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.06.037
- Romero del Castillo, R., Sabaté, J., Plans, M., & Casañas, F. (2010). Evaluación para características de calidad. A: J. M. Carrillo, M.J. Díez, M. Pérez de la Vega, & F. Nuez (Eds). *Mejora genética y recursos fitogenéticos: Nuevos avances en la conservación y utilización de los recursos fitogenéticos* (pp. 383-420). Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Romero del Castillo, R., & Simó, J. (2015). *Els calçots I: com preparar-los 11 vegades*. SD Edicions.

- Romero del Castillo, R., Valero, J., Casanas, F., & Costell, E. (2008). Training, validation and maintenance of a panel to evaluate the texture of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Sensory Studies*, 23(3), 303–319. doi: 10.1111/j.1745-459X.2008.00157.x
- Rosales, C.K., & Suwonsichon, S. (2015). Sensory lexicon of pomelo fruit over various cultivars and fresh-cut storage. *Journal of Sensory Studies*, 30, 21–32. doi: 10.1111/joss.12133

S

- Segú, A. (2013). *La calçotada ideal i altres receptes amb calçots*. RBA La Magrana.
- Señorans, F. J., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2006). New trends in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(5), 507–526. doi: 10.1080/10408690390246341
- Sharma, K., Ko, E. Y., Assefa, A. D., Ha, S., Nile, S. H., Lee, E. T., & Park, S. W. (2015). Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(2), 243–252. doi: 10.1016/j.jfda.2014.10.005
- Shewfelt, R. L. (1999). What is quality? *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 197–200. doi: 10.1016/S0925-5214(98)00084-2
- Shermanm, H. (1997). Infrared Spectroscopy. A: Settle, F. (Ed.), *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry* (pp. 247–283). New Jersey, USA, Prentice Hall.
- Sijtsema, S., Linnemann, A., van Gaasbeek, T., Dagevos, H., & Jongen, W. (2002). Variables influencing food perception reviewed for consumer-oriented product development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(6), 565–581. doi: 10.1080/20024091054256
- Simó, J. (2013). *Millora Genètica del Calçot (Allium cepa L.): Desenvolupament d'eines de selecció i aplicació a l'obtenció de nous cultivars*. Departament d'Enginyeria Agralimèntaria i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels.
- Simó, J., Casañas, F., Banús, S., & Blanch, J. (2015). La Indicació Geogràfica Protegida (IGP) Calçots de Valls: passat, present i futur d'una marca de qualitat. A: *Varietats tradicionals catalanes (II): els calçots*. Dossier tècnic núm. 75. RuralCat.
- Simó, J., Pascual, L., Cañizares, J., & Casañas, F. (2014). Spanish onion landraces (*Allium cepa* L.) as sources of germplasm for breeding calçots: a morphological and molecular survey. *Euphytica*. doi: 10.1007/s10681-013-0995-y
- Simó, J., Plans, M., Casañas, F., & Sabaté, J. (2013a). Modeling “calçots” (*Allium cepa* L.) growth by Gompertz function. *Statistics and Operations Research Transactions (SORT)*, 37(1), 95–106.
- Simó, J., Romero del Castillo, R., Almirall, A., & Casañas, F. (2012a). “Roquerola” and “Montferri”, first improved onion (*Allium cepa* L.) cultivars for “calçots” production. *Hortscience*, 47(6), 801–802. doi: 10.21273/HORTSCI.47.6.801
- Simó, J., Romero del Castillo, R., & Casañas, F. (2012b). Tools for breeding ‘calçots’ (*Allium cepa* L.), an expanding crop. *African Journal of Biotechnology*, 11(50), 11065–11073. doi: 10.5897/AJB12.904
- Simó, J., & Sans, S. (2015). Les noves varietats de calçots, un camí que no acaba mai. A: *Varietats tradicionals catalanes (II): els calçots*. Dossier tècnic núm. 75. RuralCat.
- Simó, J., Valero, J., Plans, M., Romero del Castillo, R., & Casañas, F. (2013b). Breeding onions (*Allium cepa* L.) for consumption as “calçots” (second-year resprouts). *Scientia Horticulturae*, 152(0), 74–79. doi: 10.1016/j.scienta.2013.01.011

- Simões O., Moreira J., & Dinis I. (2008). Variedades regionais de peras e maçãs. Estarão os consumidores interessados? A: O. Simões, A. Lopes, J. Ferreira (Eds.), *Variedades regionais e agricultura biológica: desafios para peras e maçãs portuguesas* (pp. 166-177). Coimbra, Portugal, ESAC/DRAPC.
- Sinelli, N., Cerretani, L., Di Egidio, V., Bendini, A., & Casiraghi, E. (2010). Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity. *Food Research International*, 43(1), 369–375. doi: 10.1016/j.foodres.2009.10.008
- Siracusa, L., Avola, G., Patane, C., Riggi, E., & Ruberto, G. (2013). Re-evaluation of traditional Mediterranean foods. The local landraces of 'Cipolla di Giarratana' (*Allium cepa* L.) and long-storage tomato (*Lycopersicon esculentum* L.): quality traits and polyphenol content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(14), 3512–3519. doi: 10.1002/jsfa.6199
- Skreli, E., Imami, D., Chan, C., Canavari, M., Zhllima E., & Pire, E. (2017). Assessing consumer preferences and willingness to pay for organic tomatoes in Albania: A conjoint choice experiment study. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15 (3). doi: 10.5424/sjar/2017153-9889
- Sociedad Española de Nutracéutica Médica (2019). Disponible a: <http://www.nutraceuticamedica.org/definicion.htm>. Darrer accés: 18/03/2019
- Suwannaporn, P., & Linnemann, A. (2008). Rice-eating quality among consumers in different rice grain preference countries. *Journal of Sensory Studies*, 23, 1-13. doi: 10.1111/j.1745-459X.2007.00129.x

T

- Talavera-Bianchi, M. & Chambers, D. H. (2008). Simplified lexicon to describe flavor characteristics of western European cheeses. *Journal of Sensory Studies*, 23, 468–484. doi:10.1111/j.1745-459X.2008.00166.x
- Thybo, A. K., & Martens, M. (1998). Development of a sensory texture profile of cooked potatoes by multivariate data analysis. *Journal of Texture Studies*, 29(4), 453–468. doi: 10.1111/j.1745-4603.1998.tb00816.x
- Tolón, A., & Lastra, X. (2009). Los alimentos de calidad diferenciada: una herramienta para el desarrollo rural sostenible. *M+A. Revista Electrónica de Medioambiente*, 6. Disponible a: <http://revistas.ucm.es/index.php/MARE/article/view/MARE0909220045A>. Darrer accés: 25/03/2019.
- Tsukazaki, H., Yaguchi, S., Yamashita, K., Shigyo, M., Kojima, A., & Wako, T. (2012). QTL analysis for pseudostem pungency in bunching onion (*Allium fistulosum*). *Molecular Breeding*, 30(4), 1689–1698. doi: 10.1007/s11032-012-9752-5

U

- Ulrich, D., & Olbricht, K. (2011). Fruit organoleptic properties and potential for their genetic improvement. In: M. A. Jenks, & P. J. Bebeli (Eds.), *Breeding for fruit quality* (pp. 41-60). Chichester, UK, John Wiley & Sons, Inc.

V

- van Dijk, C., Fischer, M., Holm, J., Beekhuizen, J. G., Stolle-Smits, T., & Boeriu, C. (2002). Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 1. Relationships between dry matter content, sensory-perceived texture, and near-infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18), 5082–5088. doi: 10.1021/jf011509w

- van de Wouw, M., Kik, C., van Hintum, T., van Treuren, R., & Visser, B. (2009). Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. *Plant Genetic Resources*, 8, 1–15. doi: 10.1017/S1479262109990062
- van Rijswijk, W., & Frewer, L. J. (2008). Consumer perceptions of food quality and safety and their relation to traceability. *British Food Journal*, 110(10–11), 1034–1046. doi: 10.1108/00070700810906642
- Verain, M. C. D., Sijtsema, S. J., & Antonides, G. (2016). Consumer segmentation based on food-category attribute importance: The relation with healthiness and sustainability perceptions. *Food Quality and Preference*, 48(A), 99–106. doi: 10.1016/j.foodqual.2015.08.012
- Vicente, A. R., Manganaris, G. A., Sozzi, G. O., & Crisosto, C. H. (2009). Nutritional quality of fruits and vegetables. In: W. Florkowski, R. Shewfelt, B. Brueckner, & S. Prussia (Eds.), *Postharvest Handling: A Systems Approach*. Academic Press.
- Villa, T. C., Maxted, N., Scholten, M. A., & Ford-Lloyd, B. V. (2005). Defining and identifying crop landraces. *Plant Genetic Resources*, 3, 373–384. doi: 10.1079/PGR200591
- von Rümker, K. (1908). Die systematische Einteilung und Benennung der Getreidesorten für praktische Zwecke. *Jahrbuch der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft*, 23, 137–167.

W

- Wandel, M., & Bugge, A. (1997). Environmental concern in consumer evaluation of food quality. *Food Quality and Preference*, 8 (1), 19–26. doi: 10.1016/S0950-3293(96)00004-3
- Wang, H., Li, C., & Wang, M. (2013a). Quantitative determination of onion internal quality using reflectance, interactance, and transmittance modes of hyperspectral imaging. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 56(4), 1623–1635. doi: 10.13031/trans.56.9883
- Wang, H., Li, C., & Li, M. (2013b). Detection of onion soluble solids content based on the near-infrared reflectance spectra. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, 33, 2403–2406. doi: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)09-2403-04
- Williams, P. C. (2001). Implementation of near-infrared technology. A: P. C. Williams, & K. H. Norris (Eds.), *Near-infrared technology in the agricultural and food industries* (pp. 145–169). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemistry.

X

- Xiao, D., Pinto, J. T., Gundersen, G. G., & Weinstein, I. B. (2005). Effects of a series of organosulfur compounds on mitotic arrest and induction of apoptosis in colon cancer cells. *Molecular Cancer Therapeutics*, 4, 1388–1398. doi: 10.1158/1535-7163.MCT-05-0152
- Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Povey, M. J. W., Holmes, M., & Hanpin, M. (2010). Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 667(1–2), 14–32. doi: 10.1016/j.aca.2010.03.048

Z

- Zander, K., & Hamm, U. (2010). Consumer preferences for additional ethical attributes of organic food. *Food Quality and Preference*, 21 (5), 495–503. doi: 10.1016/j.foodqual.2010.01.006
- Zeven, A. C. (1998). Landraces: A review of definitions and classifications. *Euphytica*, 104(2), 127–139. doi: 10.1023/A:1018683119237

Zudaire, L. (2018). *Evaluación de diferentes estrategias químicas, físicas y biológicas para el desarrollo de productos vegetales de calidad enteros o mínimamente procesados*. Universitat de Lleida, Lleida.

Zudaire, L., Viñas, I., Abadías, M., Simo, J., Echeverría, G., Plaza, L., & Aguilo-Aguayo, I. (2017). Quality and bioaccessibility of total phenols and antioxidant activity of calcots (*Allium cepa* L.) stored under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 122–123. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.09.001



OBJECTIUS

OBJECTIUS

Objectiu general

L'objectiu general d'aquesta tesi és el desenvolupament de coneixement i d'eines per a la millora i el control de la qualitat sensorial i nutricional dels calçots. Aquest objectiu ve determinat per la importància comercial creixent del calçot, la seva expansió fora de l'àrea tradicional de cultiu i el paper rellevant que la qualitat sensorial i nutricional tenen en la valoració del producte en el mercat.

Objectius específics

Per assolir l'objectiu principal, es proposen quatre objectius específics, als quals es dóna resposta en els quatre articles (capítols) que componen l'apartat de resultats:

- I. Estudi de la influència genètica i ambiental sobre caràcters de qualitat nutricional i sensorial del calçot (*capítols 1 i 2*).
- II. Descripció nutricional del calçot i estudi de l'impacte de la cocció sobre la seva composició (*capítol 2*).
- III. Estudi de l'ús del NIR per a l'avaluació de la qualitat nutricional del calçot cuit amb el desenvolupament de models per a la predicció de caràcters químics (*capítol 3*).
- IV. Estudi de l'ús del NIR per a l'avaluació de la qualitat sensorial del calçot cuit amb el desenvolupament de models NIR per a la predicció dels caràcters sensorials (*capítol 4*).



RESULTATS



Capítol 1

Improving the commercial value of the 'calçot' (*Allium cepa* L.) landrace: influence of genetic and environmental factors in chemical composition and sensory attributes

Sans, S., Casals, J., & Simó, J. (2018)

Frontiers in Plant Science, 9, 1465



Improving the Commercial Value of the ‘Calçot’ (*Allium cepa* L.) Landrace: Influence of Genetic and Environmental Factors in Chemical Composition and Sensory Attributes

Silvia Sans^{1,2*}, Joan Casals^{1,2} and Joan Simó^{1,2}

¹ Miquel Agustí Foundation, Castelldefels, Spain, ² Department of Agri-Food Engineering and Biotechnology, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, Spain

OPEN ACCESS

Edited by:

Lillian Barros,
Polytechnic Institute of Bragança,
Portugal

Reviewed by:

Nikos Tzortzakís,
Cyprus University of Technology,
Cyprus
Anestis Karkanis,
University of Thessaly, Greece

*Correspondence:

Silvia Sans
silvia.sans.molins@upc.edu

Specialty section:

This article was submitted to
Agroecology and Ecosystem
Services,
a section of the journal
Frontiers in Plant Science

Received: 05 June 2018

Accepted: 14 September 2018

Published: 04 October 2018

Citation:

Sans S, Casals J and Simó J
(2018) Improving the Commercial
Value of the ‘Calçot’ (*Allium cepa* L.)
Landrace: Influence of Genetic
and Environmental Factors
in Chemical Composition and Sensory
Attributes. *Front. Plant Sci.* 9:1465.
doi: 10.3389/fpls.2018.01465

Landraces are considered valuable for their close ties to local cultures, adaptation to low inputs, and quality. ‘Calçots’ are the immature floral stems of second-year sprouts of onions from the ‘Blanca Tardana de Lleida’ landrace. ‘Calçots’ grown in their traditional area of cultivation have been awarded Protected Geographic Indication (PGI) ‘Calçot de Valls’ from the European Union. Despite annual sales of about €15 million, ‘calçot’ germplasm and cultivation methods are under-researched. This study aimed to estimate the influence of genetic and environmental factors in the chemical and sensory characteristics of ‘calçots’ to enable strategies to improve their commercial value to be devised. To this end, we tested the landrace and three new, more productive varieties derived from the landrace in experiments conducted over two seasons in six locations (within and outside the PGI zone), using two planting dates and two harvesting times. The results point to a major environmental influence in the quality of ‘calçots.’ The analysis of variance found all factors related with environmental influence were significant in most chemical traits considered (dry matter content, soluble solids content, pH, titratable acidity, and ash content), while the variety factor was significant only for titratable acidity. In sensory analyses, the variety factor and all the environmental factors had significant effects in all sensory traits recorded (sweetness, fiber perception, and off-flavors). In both chemical and sensory traits, most significant interactions involved the environmental factors. The negative correlation found between sweetness and fiber perception and off-flavors suggests that additional selection can bring ‘calçots’ closer to the sensory ideotype. Although clearly more productive, the new ‘calçot’ varieties maintain the chemical composition and sensory value of the landrace. Thus, fine-tuning the cultivation and/or breeding of the landrace for both yield and quality seem viable approaches to obtaining better commercial products.

Keywords: landrace, ‘calçot’, onion, chemical composition, sensory attributes, environmental influence

INTRODUCTION

Landraces are important resources in agriculture for their adaptation to particular environments and low inputs, their close ties to local cultures, and their tolerance and resistance to biotic and abiotic stresses (Newton et al., 2010; Casañas et al., 2017). Landraces renowned for their high sensory quality have maintained a commercial role in specialist production for niche markets (Villa et al., 2005). Extensive discussions have sought to define the concept of landrace, and many authors have associated landraces with a lack of formal genetic improvement (Zeven, 1998; Villa et al., 2005). Recently, Casañas et al. (2017) proposed to define landraces as cultivated varieties that have evolved and may continue to evolve through the use of conventional or modern breeding techniques in traditional or new agricultural environments within a defined ecogeographical area under the influence of the local human culture.

To recognize the added value of high quality local products and enhance rural development, the European Union promotes three types of food quality labels: Protected Designation of Origin (PDO), Protected Geographical Indication (PGI), and Traditional Speciality Guaranteed (TSG). When applied to vegetables, PDO and PGI are closely tied to the geographical area of production and to the genotype-by-environment (GxE) interaction, which usually involves landraces. Thus, these designations simultaneously promote rural development and the *in situ* conservation of landraces (Smale et al., 2004). These food quality labels also help consumers identify products and crop varieties associated with cultural or biological heritage within a limited geographical area (Veteläinen et al., 2009). Products under food quality labels have singular organoleptic and/or nutritional traits derived from historically selected GxE interactions. To enhance these traits, some quality labels are incorporating descriptive sensory analysis through trained panels for quality control to ensure the sensory characteristics of their products (Pérez-Elortondo et al., 2018).

'Calçots' are the immature floral stems of second-year onion (*Allium cepa* L.) resprouts, mainly from the long-day 'Blanca Tardana de Lleida' (BTL) landrace, typically roasted on a hot open fire in Catalonia (Northeast Spain). The BTL landrace is characterized by late development, white skin and flesh, and the production of between 1 and more than 25 resprouts ('calçots') per onion. The European Union has designated the PGI 'Calçot de Valls' for 'calçots' from the BTL landrace of onions cultivated in the traditional area of cultivation (EC No 905/2002, 2002). There are no official economic data about 'calçots,' but it is estimated that the current market volume is about €15 million. Moreover, agro-tourism related with 'calçots' boosts the regional economy and has increased interest in demand for 'calçots' worldwide. The recent surge in commercialization has made farmers more interested in improving the quality and homogeneity of their product. To date, the regulating board of the PGI 'Calçot de Valls' has focused quality control on parameters related to external appearance (length and width of the edible part), but producers trading under the label aim to expand quality control to include quality-related parameters.

The agronomic performance of 'calçots' has been studied, and some tools have been developed to facilitate breeding for yield (Simó et al., 2013). As a result, two new more productive varieties have been obtained: Roquerola, which provides 320% more commercial-sized 'calçots' in early harvests, and Montferri, which provides 116% more 'calçots' in late harvests compared with the base population (Simó et al., 2012a). In parallel, a sensory ideotype has been elaborated; the ideal 'calçot' should have a high level of sweetness, low fiber perception, and no off-flavors (Simó et al., 2012b). In recent years, farmers of PGI 'Calçot de Valls' have relied heavily on the new varieties, but some historical populations are still cultivated. No breeding programs have been developed to improve the sensory quality of 'calçot' crop.

The chemical and nutritional composition, as well as the sensory profile of the plants, is determined by genetic and environmental factors and their interactions (Allard, 1999). In PDO or PGI products, the specific quality profile is conferred by the interaction between the genotype (i.e., landraces) and the environment (i.e., the historical area of production) (Romero del Castillo et al., 2008), and research programs should identify the genetic and environmental factors underlying these traits. For this reason, it is important to conduct studies that increase our understanding of the factors influencing quality.

As a first step toward expanding the attributes specified in the PGI 'Calçot de Valls' to include sensory traits, this study aimed to estimate the influence of genetic and environmental factors in some key chemical and sensory traits of 'calçots.'

MATERIALS AND METHODS

Experimental Design

Field experiments were conducted in two consecutive seasons (2014–2015 and 2015–2016) at six different locations with different pedo-climatic conditions in Catalonia (Northeast Spain) that represent standard 'calçot' production areas (**Figure 1**). Four experimental fields were located within the geographical area designated by the PGI, while the two others were outside the designated area.

Four different varieties of BTL were evaluated: the original population, which has not undergone any formal scientific breeding processes, the improved varieties Roquerola and Montferri, derived from the historical landrace by scientific breeding (Simó et al., 2012a), and a new experimental variety with higher yields, also derived from the historical landrace by scientific breeding. To avoid the effect of the first growing cycle conditions on 'calçots' cultivation, bulb onions used in the experiments were produced in the same field (Simó et al., 2013). In both experimental seasons, bulb onions were replanted at a density of 32,000 plants per hectare, using a planting pattern of 0.3 × 0.75 m, at two different times, in mid-August (early planting) and in late September (late planting). 'Calçots' were harvested at two different times, in December (early harvest) and in February (late harvest). The experimental design was three randomized blocks, with 50 plants per plot. Each experimental field was managed by farmers using their own customary traditional cultivation techniques. The fertilization, irrigation,

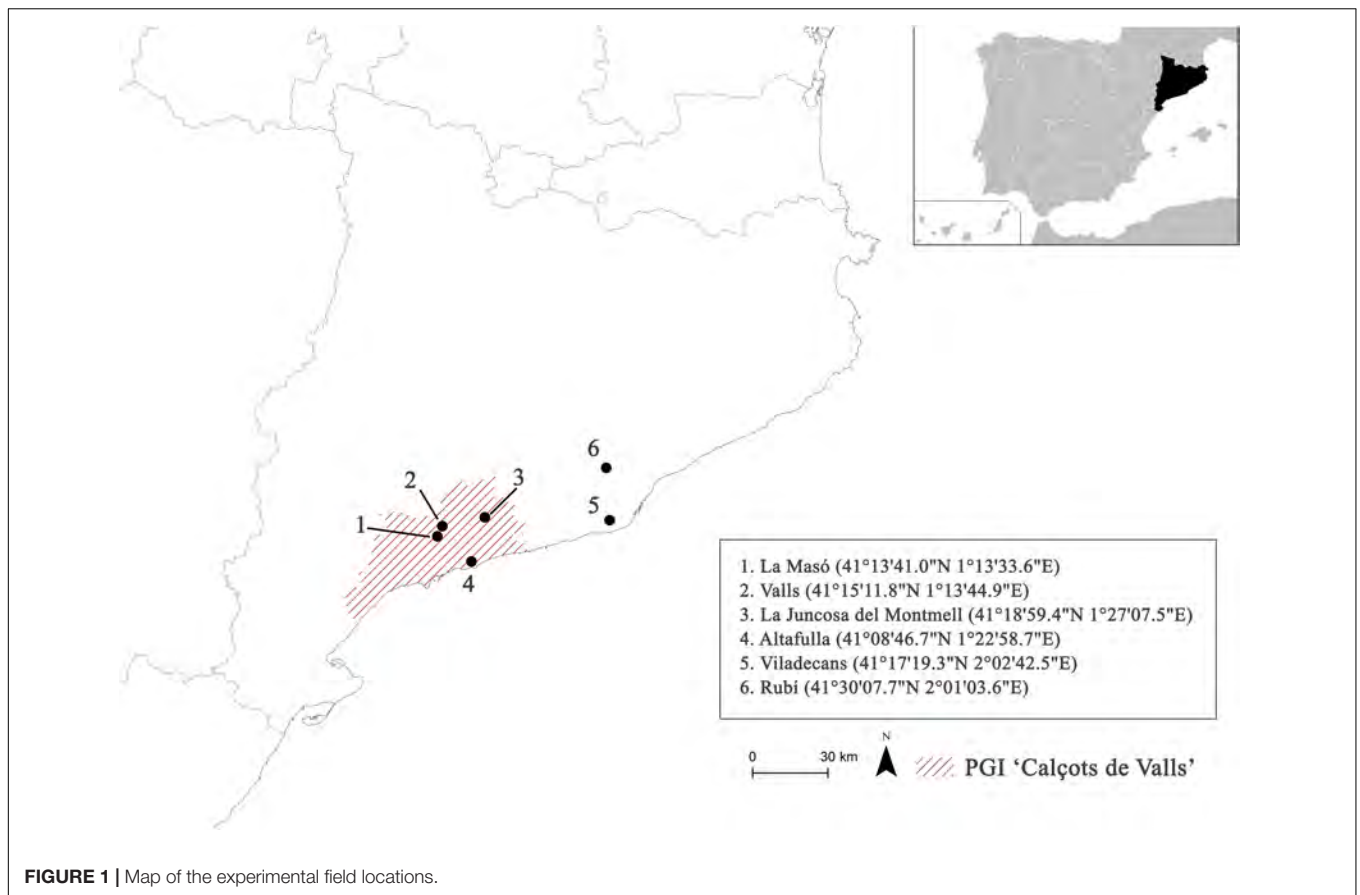


TABLE 1 | Soil properties at the six locations in the two seasons.

Trait	Season	Altafulla	La Juncosa	La Masó	Rubí	Valls	Viladecans
Soil pH	14–15	8.54	8.47	8.38	8.43	8.27	8.57
	15–16	8.61	8.40	8.37	8.48	8.28	8.43
Electrical conductivity 25°C (dS m ⁻¹)	14–15	0.232	0.152	0.194	0.19	0.194	0.265
	15–16	0.212	0.174	0.223	0.18	0.22	0.275
Organic matter (%)	14–15	1.52	1.63	1.72	1.71	1.76	0.71
	15–16	1.12	1.30	1.34	1.28	1.3	1.10
Calcium carbonate equivalent (%)	14–15	36	38	39	23	52	24
	15–16	42	47	38	21	51	32
Nitrogen (mg N-NO ₃ kg ⁻¹)	14–15	40	18	32	36	78	22
	15–16	22	14	23	69	39	47
Phosphorus (mg kg ⁻¹)	14–15	20	21	27	18	3	9
	15–16	37	36	95	33	16	49
Potassium (mg kg ⁻¹)	14–15	230	590	374	334	292	547
	15–16	155	626	340	205	261	293
Calcium (mg kg ⁻¹)	14–15	6,529	6,979	6,456	6,555	7,066	7,150
	15–16	5,989	6,828	6,032	6,066	6,689	6,863
Magnesium (mg kg ⁻¹)	14–15	593	705	379	280	374	329
	15–16	499	531	344	300	358	337
Sodium (mg kg ⁻¹)	14–15	89	25	43	101	26	142
	15–16	157	17	35	41	44	104
Cation exchange capacity (cmol kg ⁻¹)	14–15	7.1	14.2	8.0	11.3	9.8	6.8
	15–16	6.3	15.7	7.5	11.8	10.4	9.9

TABLE 2 | Climatic data (°C) of the six locations in the two experimental seasons.

Location	Season	August		September		October		November		December		January		February	
		Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.	Mean min.	Mean max.
Altafulla	14–15	21.2	28.3	19.7	26.9	15.1	24.3	11.4	19.7	5.7	15.3	4.8	14.7	4.4	14.4
	15–16	20.9	29.3	17.2	25.3	13.7	22.2	9.5	19.3	8.2	16.7	7.5	16.2	6.8	17.0
La Juncosa	14–15	16.7	28.3	15.9	26.1	13.8	24.1	9.0	15.9	4.8	12.4	3.6	12.5	2.1	11.4
	15–16	17.0	29.6	13.5	24.2	10.9	20.4	8.5	18.1	7.1	15.6	5.3	13.4	5.2	14.1
La Masó	14–15	20.1	30.0	18.5	28.7	14.6	24.5	10.3	18.5	5.5	12.7	4.3	13.3	4.1	13.9
	15–16	20.4	31.1	16.6	25.6	12.5	21.6	9.1	17.7	7.1	15.6	6.3	15.5	6.4	16.1
Rubí	14–15	18.8	29.9	17.2	27.9	13.5	25.9	8.8	18.1	3.4	13.0	2.3	13.7	2.0	14.2
	15–16	18.6	31.4	15.1	26.2	11.7	22.6	7.0	19.4	5.0	16.4	5.1	15.8	4.8	17.2
Valls	14–15	17.6	28.1	16.4	26.7	12.4	24.3	8.3	17.7	3.5	13.0	2.2	12.9	2.0	12.7
	15–16	17.8	29.1	13.8	24.3	10.5	21.0	6.8	17.6	4.9	15.6	4.8	14.6	4.4	15.2
Viladecans	14–15	20.2	28.9	18.9	27.2	14.8	24.6	10.4	19.2	5.5	14.6	4.3	14.7	4.0	14.2
	15–16	20.2	30.6	16.8	26.1	13.2	22.6	8.9	19.6	7.2	17.1	6.4	16.4	5.7	17.3

Mean min.: mean of monthly minimum temperatures; Mean max.: mean of monthly maximum temperatures.

weed control and pest management were also managed using the farmer cultivation practices.

Soil Characteristics and Climate Data

Before planting, soil analyses were performed for each location. A hollow cylindrical corer with an internal diameter of 7 cm was used to collect seven 25-cm deep subsamples along a zigzag path from each experimental field. Subsamples were mixed to obtain homogeneous samples of about 1000 g for each site. The analyses were performed to evaluate the following soil properties: pH, electrical conductivity, percentage of organic matter, percentage of calcium carbonate equivalent, content of N, P, K, Ca, Mg, and Na, USDA textural class, and cation exchange capacity.

Climatic data (mean maximum and minimum monthly temperatures) were obtained from meteorological stations located near the experimental fields (Table 2). Rainfall was not considered because there was no unusual episode of rain and all the fields were cultivated under irrigation.

Sample Preparation

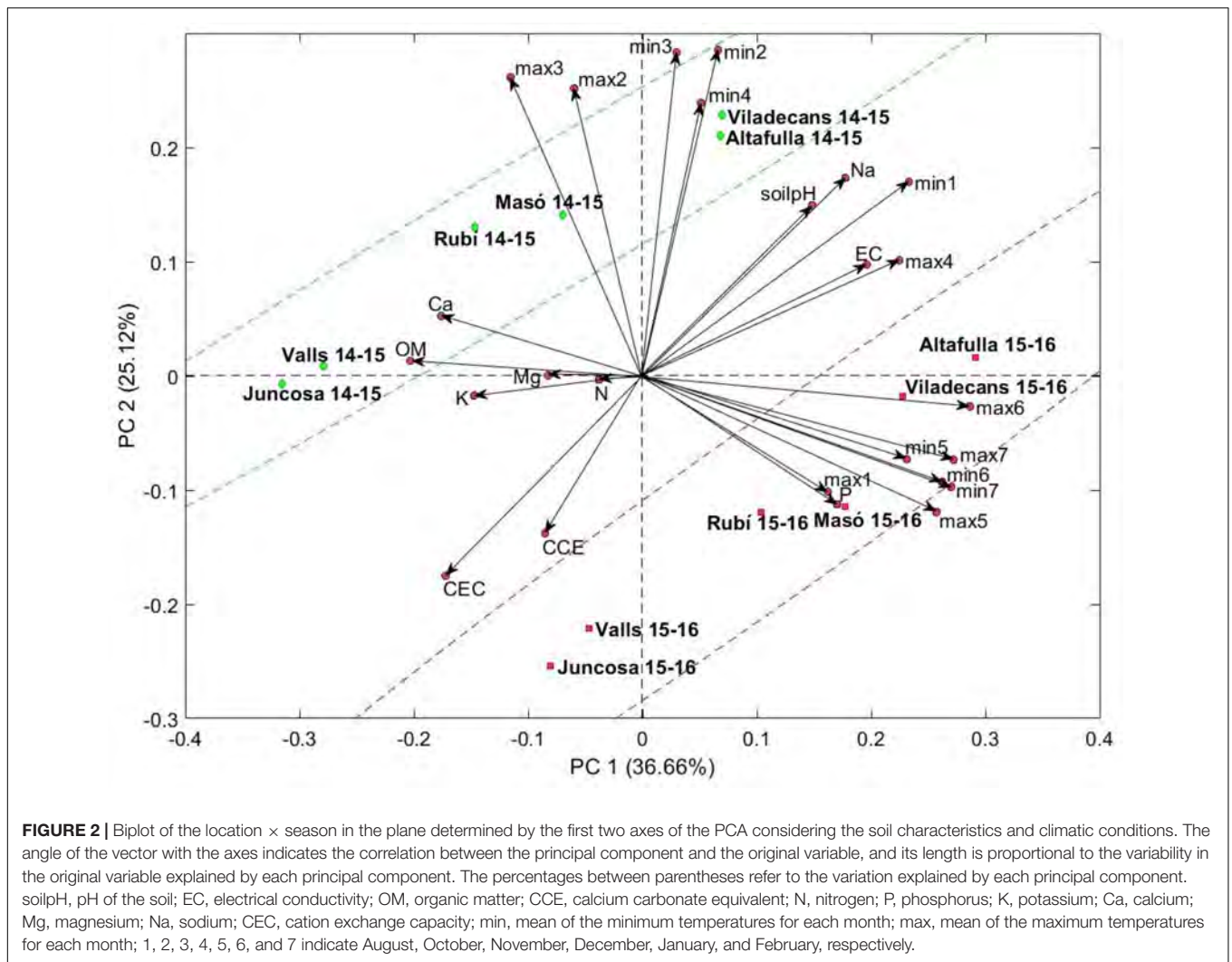
For each treatment (combination of variety, year, location, planting date, and harvest date) we collected three different samples. Each sample comprised a set of 80 commercial 'calçots' (PGI regulations define commercial 'calçots' as having a compact white edible base measuring 15–25 cm in length and 1.7–2.5 cm in diameter 5 cm from the root). 'Calçot' samples were prepared as described by Simó et al. (2012b). Leaves were cut 4 cm above the ligule, and roots were removed. Then, 'calçots' were rinsed with tap water to remove adhered soil and roasted at 270°C for 18 min in a convection oven (SALVA Kwik-co). After cooking, the two most external leaves were removed and the edible lower white part of each 'calçot' was cut. All 'calçots' in each sample were triturated with a mixer (Taurus BAPI 850). Pureed samples were frozen with liquid nitrogen and stored at –20°C until their chemical and sensory analyses.

Chemical Analysis

Soluble solids content was directly determined in the puree with a hand refractometer (Erma, Japan) and expressed as °Brix. To analyze titratable acidity, 10 g of puree was mixed with 50 mL of distilled water, initial pH was recorded, and then the mixture was titrated with 0.1 M sodium hydroxide (NaOH) to pH 8.1; titratable acidity was expressed as g/100 g of malic acid. To determine dry matter, 30 g of puree was dried to a constant weight for 72 h at 60°C; dry matter was expressed as g/100 g of fresh matter. To determine ash content, we used AOAC method 923.03 (AOAC, 2005): dried samples were ground to an average particle size < 0.4 mm to obtain flour; then, 1 g of flour was burned in a muffle at 450°C for 4 h, cooled to room temperature in a desiccator, and finally weighed. Ash was expressed as g/100 g of dry matter. All chemical analyses were carried out in triplicate.

Sensory Analysis

Descriptive sensory analysis requires trained panels, and these panels can work with a limited number of samples. This limitation precluded panel analysis of the nearly 200 samples



generated along the experiment; therefore, sensory analysis consisted only of a preliminary survey using selected samples from the second year. Thus, the panel tested a subset of 32 samples representing the early and late harvests of the 4 varieties in 4 locations (La Masó, La Juncosa del Montmell, Valls, and Viladecans).

Sensory analysis was carried out as described by Simó et al. (2012b). Each of the 8 trained panelists evaluated the samples of puree in duplicate in a total of 13 sessions. Sensory attributes (sweetness, fiber perception, and off-flavors) were measured on semi-structured visual scales labeled from 0 to 10. All tests were carried out in a room designed for sensory tests that fulfilled the standards set out by the International Organization for Standardization (ISO 8589, 2007).

Statistical Analysis

Data were analyzed with R statistic software (R Core Team, 2017). PLS_Toolbox v.8.21 software (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, WA, United States) was used for principal components analysis (PCA).

Each chemical and sensory trait was studied by ANOVA to detect statistical significance, according to the following linear models:

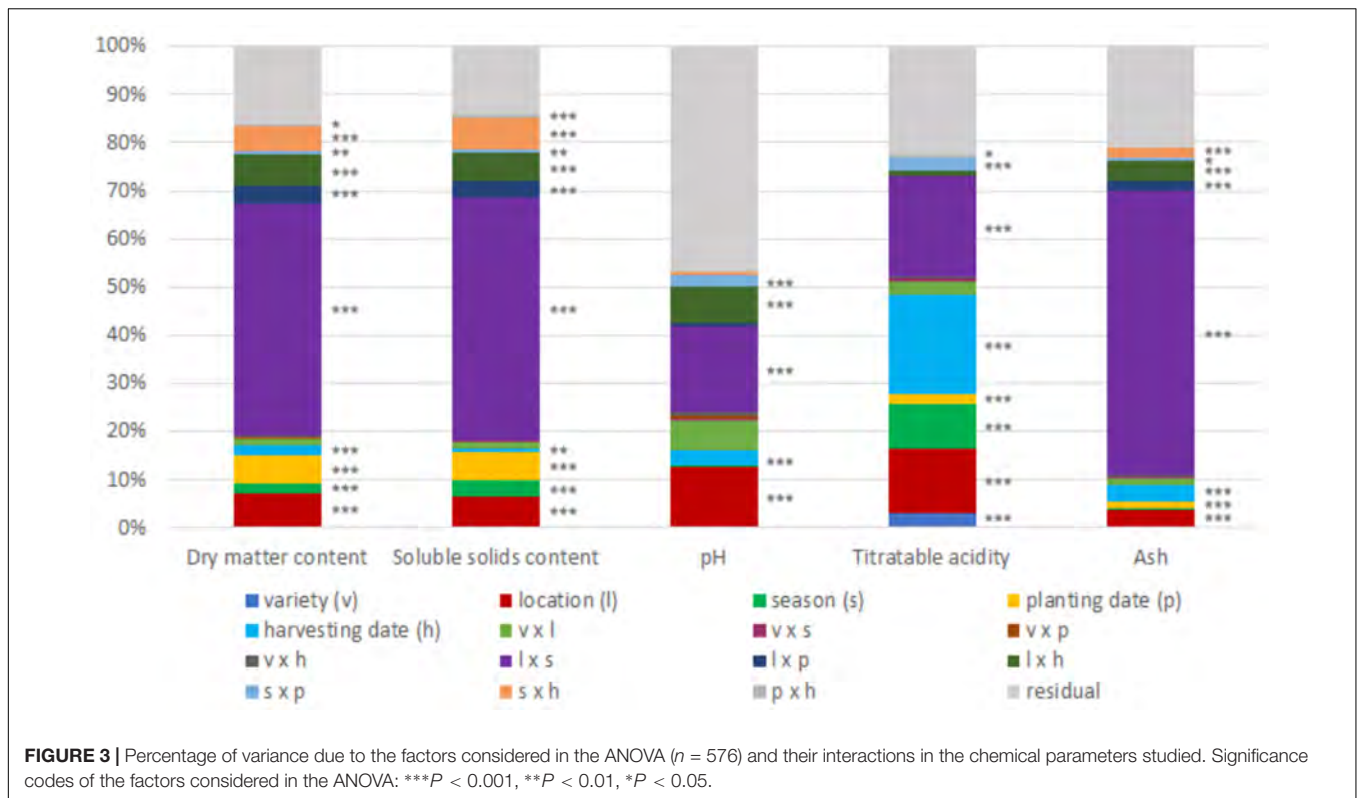
For chemical attributes,

$$X_{ijklm} = \mu + v_i + l_j + s_k + p_l + h_m + v_i l_j + v_i s_k + v_i p_l + v_i h_m + l_j s_k + l_j p_l + l_j h_m + s_k p_l + s_k h_m + p_l h_m + \epsilon_{ijklm}, \quad (1)$$

and for sensory attributes,

$$X_{ijkl} = \mu + v_i + l_j + h_k + t_l + v_i l_j + v_i h_k + v_i t_l + l_j h_k + l_i t_l + h_k t_l + \epsilon_{ijkl}, \quad (2)$$

where v, l, s, p, h, and t are the factors variety, location, season, planting date, harvesting time, and trained panelist, respectively. All factors were considered fixed. Means of significant factors were compared by calculating the least significant difference (LSD) ($P < 0.05$). We used Pearson's correlation coefficient and regression to study the relations among the traits.



RESULTS

Environmental Description

Soil texture was classified as loamy in all the experimental fields. The results of the remaining parameters studied (Table 1) showed that in general all the locations were calcareous, presented between basics and slightly alkaline soils and low concentration of organic matter, especially Viladecans during the first season (0.71%). In no case electrical conductivity was a limiting factor for 'calçot' cultivation.

Temperatures at all locations were characteristic of the mild Mediterranean climate, with marked differences over the months (Table 2). In general, the 2014-2015 season was warmer during the autumn, but in winter the highest temperatures were recorded in the 2015-2016 season.

Principal components analysis was performed on environmental characteristics (soil and climate data). The first three principal components, accounting for 74.9% of the total variance, revealed strong differences between seasons. The first component (PC1, 36.7%) was primarily correlated positively by mean minimum temperatures in December, January, and February; mean maximum temperatures in November, December, January, and February; sodium content; and electrical conductivity. Three factors correlated negatively with the first component: calcium content, cation exchange capacity, and organic matter. The traits that correlated positively most strongly with the second component (PC2, 25.1%) were mean minimum temperatures in August, September, October, and November; mean maximum temperatures in September and October; and

soil pH. Two factors correlated negatively with the second component: cation exchange capacity and calcium carbonate equivalent. PCA revealed similarities among some locations, grouping them in pairs: Altafulla and Viladecans, La Masó and Rubí, and Valls and La Juncosa. However, the effect of the season seemed stronger since there was a clear displacement of all the locations between the two seasons studied, due to higher content of P and higher temperatures during the winter months (Figure 2).

Chemical Attributes

The analysis of variance showed a major environmental influence in chemical traits of 'calçots.' All factors related with environmental influence (location, planting date, harvesting time, and season) were significant ($P < 0.05$) for all the chemical traits considered, except the factors season and planting date for pH and the factor season for ash content. By contrast, the factor variety was significant only for the attribute titratable acidity. The only significant interactions were between factors related with environmental influence, being the interaction location \times season the most important (Figure 3).

The greatest differences were found between locations (Table 3). Differences between locations ranged from 1.9% for pH to 34.6% for titratable acidity. Valls, La Juncosa, and Altafulla had the highest values for dry matter and soluble solids content, while Rubí had the lowest mean values for titratable acidity and ash content. As mentioned above, the only chemical trait that was significantly different between varieties was titratable acidity, which was highest in the "traditional" landrace and

lowest in the new “experimental” variety (Table 3). The amount of dry matter and soluble solids content were higher in the first season (2014–2015), and titratable acidity was higher in the second season (2015–2016). On average, ‘calçots’ planted early (in August) presented higher values of dry matter and soluble solids contents and lower values of titratable acidity and ash content. ‘Calçots’ from the early harvest presented the highest values for all the chemical parameters analyzed except pH.

Relationships Between Environmental Variables and Chemical Composition of ‘Calçots’

Direct correlations were calculated between means of location × season of chemical parameters and environmental characteristics. Correlations were not robust, due to the complexity of the environmental factors. The only significant correlations ($P < 0.05$) were between soil pH and soil sodium content with the chemical trait pH of ‘calçots’ ($R = 0.8$ and $R = 0.61$, respectively) and between calcium carbonate equivalent and titratable acidity ($R = 0.59$).

Principal components analysis was applied using the means of chemical parameters in conjunction with environmental data (soil characteristics and climate data) of the 12 location × season combinations (Figure 3). The first three components explained 67.2% of the total variance, less than the PCA performed only with the environmental data (Figure 2). The two first components (PC1, 31.7%; PC2, 22.2%) were principally influenced by environmental characters (Figure 4) and were not notably different from the PCA that did not include the chemical parameters (Figure 2). The third component (PC3, 13.3 %) was strongly influenced by the chemical parameters dry matter and soluble solids content, with positive correlations, and ash content, with a negative correlation.

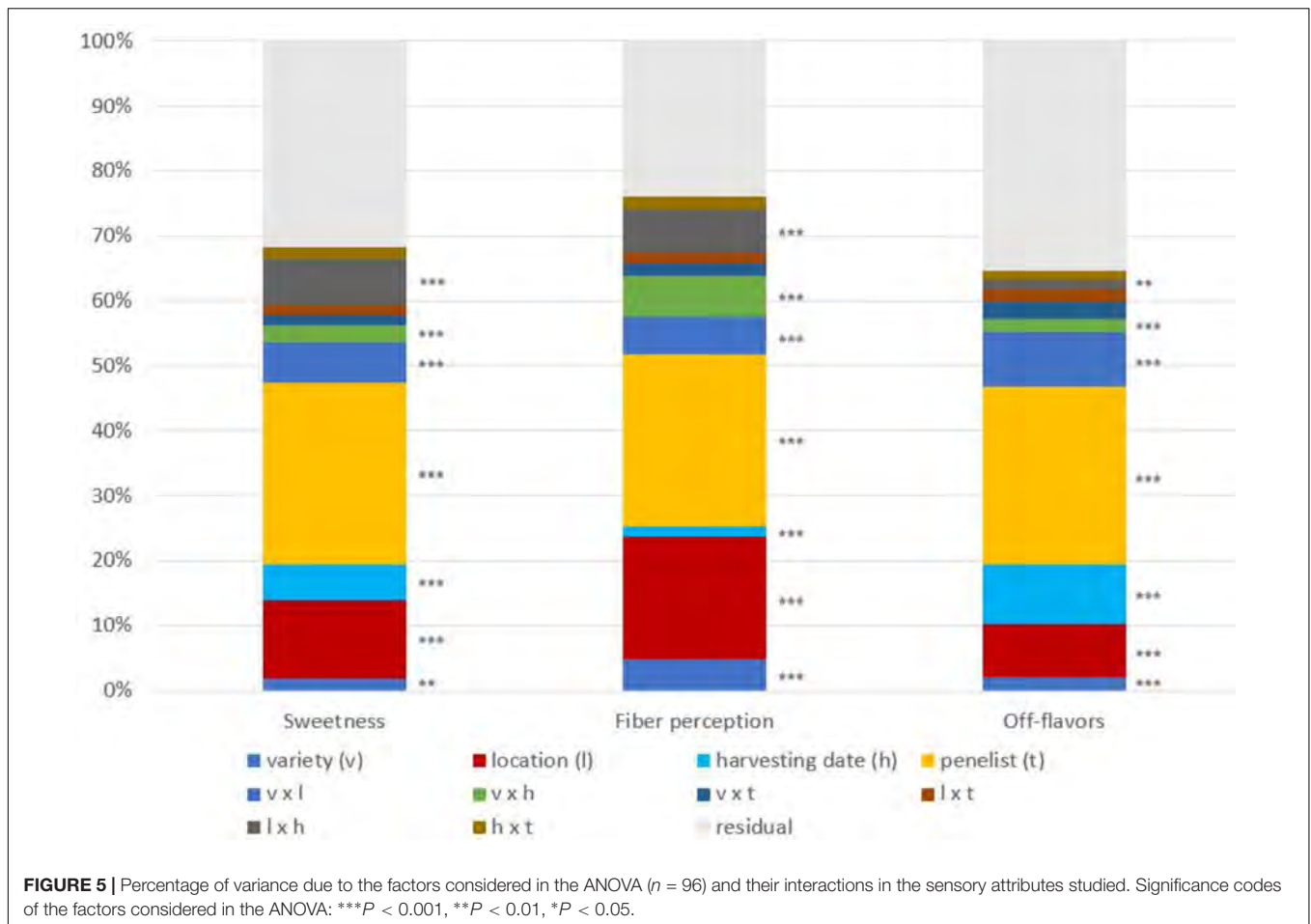
Sensory Attributes

All the main factors (variety, location, and harvesting time) were highly significant ($P < 0.01$) for all sensory traits, and the interactions between those factors were significant too. The factor panelist was also significant for the three sensory attributes considered, but none of the interactions that included the panelist factor were significant. In contrast to chemical parameters, we found significant differences between varieties; however, the

TABLE 3 | Means and standard deviations of chemical attributes between varieties, locations, seasons, planting dates, and harvesting times.

Factor	Dry matter content (g/100 g f.m.)	Soluble solids content (°Brix)	pH	Titratable acidity (g malic acid /100 g f.m.)	Ash (g/100 g d.m.)
Variety					
Roquerola	15.946 ± 0.249a	12.7 ± 0.2a	6.10 ± 0.01a	0.127 ± 0.004b	5.129 ± 0.088a
Montferri	15.898 ± 0.239a	12.8 ± 0.2a	6.09 ± 0.02a	0.124 ± 0.003bc	5.155 ± 0.109a
Traditional	16.033 ± 0.224a	12.8 ± 0.2a	6.11 ± 0.01a	0.133 ± 0.004a	5.147 ± 0.100a
Experimental	15.803 ± 0.238a	12.6 ± 0.2a	6.09 ± 0.02a	0.121 ± 0.003c	5.152 ± 0.089a
% variation	–	–	–	9.9%	–
Location					
La Masó	15.575 ± 0.248c	12.4 ± 0.2c	6.09 ± 0.02bc	0.135 ± 0.005b	5.261 ± 0.072ab
Valls	16.609 ± 0.352a	13.4 ± 0.3a	6.04 ± 0.01d	0.144 ± 0.005a	4.995 ± 0.092cd
La Juncosa	16.066 ± 0.166b	12.8 ± 0.1b	6.07 ± 0.01cd	0.120 ± 0.002c	5.327 ± 0.135a
Altafulla	16.320 ± 0.159ab	13.1 ± 0.1ab	6.15 ± 0.02a	0.125 ± 0.004c	5.157 ± 0.053abc
Viladecans	15.383 ± 0.330c	12.2 ± 0.3c	6.11 ± 0.01b	0.123 ± 0.004c	5.148 ± 0.138bc
Rubí	15.324 ± 0.355c	12.3 ± 0.3c	6.10 ± 0.02bc	0.107 ± 0.004d	4.835 ± 0.105d
% variation	8.4%	9.5%	1.9%	34.6%	10.2%
Season					
14–15	16.226 ± 0.159a	13.1 ± 0.1a	6.10 ± 0.01a	0.118 ± 0.002b	5.088 ± 0.075a
15–16	15.622 ± 0.171b	12.4 ± 0.2b	6.09 ± 0.01a	0.134 ± 0.002a	5.202 ± 0.060a
% variation	3.8%	5.6%	–	13.6%	–
Planting date					
August	16.153 ± 0.143a	13.0 ± 0.1a	6.09 ± 0.01a	0.125 ± 0.002b	5.089 ± 0.053b
September	15.291 ± 0.185b	12.1 ± 0.2b	6.11 ± 0.01a	0.131 ± 0.004a	5.301 ± 0.103a
% variation	5.6%	7.1%	–	4.8%	4.2%
Harvesting time					
Early	16.419 ± 0.220a	13.0 ± 0.2a	6.07 ± 0.01b	0.143 ± 0.002a	5.290 ± 0.075a
Late	15.634 ± 0.131b	12.6 ± 0.1b	6.11 ± 0.01a	0.117 ± 0.002b	5.062 ± 0.061b
% variation	5.0%	3.8%	0.6%	22.2%	4.5%

Within columns and for each factor, means followed by the same letter were not significant different at $P \leq 0.05$ (least significant difference test). f.m., fresh matter; d.m., dry matter.



varieties used in the experiment also are representative of current genotypic variability in farmers' 'calçot' fields.

Scant research related with quality in 'calçots' has been published. Zudaire et al. (2017) determined the pH, soluble solids content, and titratable acidity in the juice of raw 'calçot'; however, the methodological differences between their study and the current study make it difficult to compare results. Nevertheless, the orders of magnitude of the chemical parameters measured in our study were similar to those reported in roasted onions (Spanish food composition database, 2018) and raw onions (Barzegar et al., 2008; Petropoulos et al., 2015). Regarding the sensory analysis, the fact that the factor panelist was significant for all the traits considered indicates that panelists were applying the scales differently in their evaluations. The significance of the factor panelist is quite common in descriptive sensory analysis and it is related to slight differences in the reference values that judges learn (Romano et al., 2008). However, none of the interactions that included the panelist factor were significant, which means that, despite using different parts of the scale, the panel worked properly.

Our results show the important role of environmental factors in the chemical composition and sensory quality of

'calçots.' For all the chemical and sensory attributes studied, the effect of the environment was more important than the effect of the variety. Taking into account that our study is a first approximation, since no previous studies related with the influence of environmental variables or management practices have been done in 'calçot' cultivation, the results obtained will be helpful as a working basis for future research. The influence of environmental factors such as temperature, photoperiod, fertilization and/or other farming practices have been proved in the quality of crops (Hornick, 1992) such as onions (Sekara et al., 2017), tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) (Carli et al., 2011), globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) (Lombardo et al., 2018) or leguminous vegetables (Ntatsi et al., 2018).

In our study, the role of genetic factors was less important. The chemical composition of 'calçots' from the four varieties studied was very similar, only differing in titratable acidity. Conversely, the factor variety was significant in sensory attributes. Sensory perception is highly complex, depending not only on chemical composition, but also on how volatile and non-volatile compounds interact, as has been studied in tomato (Baldwin et al., 2008). However, although the trained panel found statistically significant differences between the varieties for all the traits studied, these differences were limited in magnitude

and would probably be undetectable for untrained consumers. These findings of low variability were to be expected as the four varieties included in this experiment are of the same varietal type and the improved varieties were derived from breeding the historical landrace. The principal difference between the varieties of 'calçot' used is the number of resprouts per plant. Breeding programs developed for 'calçots' have used the variability within the landrace. Roquerola, Montferri, and the new experimental variety (150,489; 164,668 and 175,656 'calçots'/ha respectively) were clearly more productive than the traditional population in this experiment (125,403 'calçots'/ha). Importantly, our results indicate that selection for increased production did not have a negative impact on quality, perhaps because the sensory profile was taken into account in these breeding programs to improve production (Simó et al., 2012a), though chemical composition was not controlled. Likewise, the present results are important because they show that the breeding program did not have an important impact on the chemical parameters studied; thus,

it seems that a synchronic improvement of yield and quality-related traits may be possible for 'calçots,' in contrast with the dilution effect described for many other species (Morris and Sands, 2006).

The factor location was the main source of variation in the chemical and sensory parameters studied. The influence of growing site on quality parameters has been proved also in onions (Mallor et al., 2011; Lee et al., 2016) as well as other crops such as raspberries (*Rubus idaeus*) (Castilho Maro et al., 2014) or beans (*Phaseolus vulgaris* L.) (Florez et al., 2009). Our study included locations outside the area designated in the PGI; however, we found no clear pattern differentiating between the chemical composition of 'calçots' grown inside the PGI area and those grown outside this area. Nevertheless, with respect to the sensory profile, the values for the sensory attributes of 'calçots' grown in Viladecans (outside the PGI area) were the farthest from the ideotype. This approach should be further investigated, as it can improve the robustness of the quality label, as has been done in other products, such as beans (Florez et al., 2009), olive oil (Cosio et al., 2006), or wine (Díaz et al., 2003).

The time of year when 'calçots' were planted and harvested also had an important influence on the quality of 'calçots.' It is important to point out that differences in harvesting time did not only involve different environmental conditions. 'Calçots' of the late harvest usually had a slower development, so the differences found between harvests may also be due to some genetic differences. The present study has been useful in showing that these two factors had an influence on 'calçots' quality; however, due to the complexity of the experiment and the interactions between the environmental factors studied, more focused experiments must be done before solid recommendations can be given to farmers.

The experimental design of this study included different locations with a combination of soil properties and temperature effects, and different planting and harvesting times, which in the end, also represented different environmental options at a certain moment in the plant life cycle. The complexity of the environmental factors and their interactions provide us with an overview of the influence of the environment on 'calçot' crop, which had been never studied before. However, such a broad study makes it difficult to disentangle specific findings.

TABLE 4 | Means and standard deviations of sensory attributes between varieties, locations, and harvesting times.

Factor	Sweetness	Fiber	Off-flavors
Variety			
Roquerola	6.8 ± 0.1a	1.8 ± 0.1c	2.1 ± 0.2a
Montferri	6.3 ± 0.2b	2.9 ± 0.2a	2.2 ± 0.2a
Traditional	6.5a ± 0.2b	2.1 ± 0.2bc	2.1 ± 0.2a
Experimental	6.6 ± 0.2a	2.3 ± 0.2b	1.6 ± 0.2b
% variation	8.4%	57.9%	43.2%
Location			
La Masó	6.6 ± 0.2b	1.9 ± 0.1c	2.4 ± 0.2a
Valls	6.8 ± 0.2b	1.6 ± 0.1d	1.9 ± 0.2b
La Juncosa	7.2 ± 0.1a	2.2 ± 0.2b	1.2 ± 0.1c
Viladecans	5.8 ± 0.1c	3.6 ± 0.2a	2.5 ± 0.2a
% variation	23.0%	131.0%	111.6%
Harvesting time			
Early	6.2 ± 0.1b	2.5 ± 0.1a	2.5 ± 0.2a
Late	6.9 ± 0.1a	2.1 ± 0.1b	1.4 ± 0.1b
% variation	10.8%	23.0%	76.4%

Season 2015–2016. Within columns and for each factor, means followed by the same letter were not significant different at $P \leq 0.05$ (least significant difference test).

TABLE 5 | Correlations between chemical and sensory traits.

	Fiber	Off-flavors	Dry matter	Soluble solids content	pH	Titrateable acidity	Ash	SSC/TA
Sweetness	-0.52**	-0.74***	0.47**	0.52**	-0.12	-0.38*	-0.62***	0.59***
Fiber		0.28	-0.56***	-0.58***	-0.23	0.07	0.48**	-0.43*
Off-flavors			-0.21	-0.26	0.14	0.61***	0.44*	-0.60***
Dry matter				0.97***	-0.22	0.02	-0.87***	0.61***
Soluble solids content					-0.23	-0.01	-0.92***	0.65***
pH						0.12	0.35*	-0.21
Titrateable acidity							0.29	-0.75***
Ash								-0.81***

SSC/TA: ratio of soluble solids to titrateable acidity. *, **, *** indicates significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$, respectively (Student's *t*-test).

From the two PCAs (Figures 2, 3) and the direct correlations between chemical parameters and environmental data, we could infer that the chemical parameters studied could be explained through linear combinations of some of the conditions controlled in the experiment, but this relation is not easily described by practical equations. However, temperatures seemed to play an important role on the chemical parameters studied. Moreover, soil properties that could be modified through fertilization had an impact on the 'calçots'; soil pH and sodium content influenced the pH of 'calçots' and, together with other cations, soil phosphorus content could influence the dry matter and soluble solids content of 'calçots.' The effect of both temperatures and fertilization in onion has been studied several times since these factors affect not only the plant development, but also the quality of the bulbs (Petropoulos et al., 2017; Sekara et al., 2017). The insights from this study allow us to speculate on future directions for research, but further studies will be required to grasp the complex factors underlying quality in 'calçots.'

Trying to understand which environmental characteristics had an important influence on sensory attributes is even more complex, since only a subset of samples was analyzed. It is unfeasible to analyze a large number of samples via sensory analysis with trained panelists, because they can only assess a limited number of samples per testing session (Plans et al., 2014). Therefore, other approaches are necessary. Establishing relationships between chemical composition and sensory traits opens the door to approaches that can deal with large numbers of samples. Among the correlations between chemical and sensory parameters found in the present study, the significant positive correlation between sweetness and soluble solids content, a chemical parameter that has been widely used to indicate sweetness of fresh and processed horticultural products, seems especially promising (Magwaza and Opara, 2015). The correlation between sweetness and the ratio SSC/TA has been slightly higher but considering the increase of work on the analysis, the use of soluble solids content seems to be a better approach. Correlations between chemical parameters and sensory traits can be useful for breeding programs or quality control, where it may be necessary to work with large numbers of samples that would be impossible for panels to evaluate.

There are two possible approaches to improving nutritional composition or quality characteristics of 'calçots': breeding or modifying cultivation conditions. Since the variability among 'calçots' varieties is low, intravarietal variation must be exploited (Simó et al., 2013) and, if necessary, other varieties might be used to introduce new variability. Moreover, the negative estimated genotypic correlations between sweetness and the other two sensory attributes (fiber perception and off-flavors, both of which are undesirable) suggest that additional selection can bring 'calçots' closer to the sensory ideotype. However, our results show that much work remains to increase knowledge and improve crop management through factors such as irrigation and fertilization management, incidence of pests and diseases, effects of weather, type of soil, or weed management.

CONCLUSION

The present study has generated new information regarding factors involved in the quality of 'calçots,' a crop barely investigated, enabling the influence of genetic and environmental factors in some key chemical and sensory traits of 'calçots' to be estimated.

Overall, the results point to a major environmental influence in the quality of 'calçots' cultivated from the most common varieties of BTL onion, including the original landrace. The low variability in the chemical composition and sensory traits among these varieties confirms that breeding programs to increase the production of 'calçots' plants have not significantly affected quality. Furthermore, this study has established correlations between sensory attributes and chemical parameters that can be useful when large numbers of samples need to be characterized in breeding or quality control. Finally, both breeding programs and crop management seem to be valid approaches to improving the commercial value of 'calçots.'

AUTHOR CONTRIBUTIONS

SS performed the chemical analysis, conducted the testing sessions, participated in the interpretation of data and drafting the manuscript, gave final approval of the version to be published, and agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved. JC revised the article critically, gave final approval of the version to be published, and agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved. JS made substantial contributions to the conception or design of the work, participated in the analysis and interpretation of data, gave final approval of the version to be published, and agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

FUNDING

This research was carried out with the financial support of ACCIÓ (Generalitat of Catalonia, RD14-I-004), 'Cooperativa de Valls,' 'Cooperativa de Cambrils,' and PGI 'Calçot de Valls.' This work has been supported by the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Economia i Coneixement (FI-DGR 2015).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the farmers who provided their fields for the experiments. We also thank the members of the testing panel.

REFERENCES

- Allard, R. W. (1999). *Principles of Plant Breeding*. New York, NY: John Wiley and Sons.
- AOAC (2005). *Official Methods of Analysis*, 18th Edn. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Baldwin, E. A., Goodner, K., and Plotto, A. (2008). Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. *J. Food Sci.* 73, S294–S307. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00825.x
- Barzegar, M., Jabbari, A., Rajabi, A., and Hassandokht, M. R. (2008). Chemical composition of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.) produced in Iran. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 49, 121–127.
- Carli, P., Barone, A., Fogliano, V., Frusciante, L., and Ercolano, M. R. (2011). Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *BMC Plant Biol.* 11:58. doi: 10.1186/1471-2229-11-58
- Casañas, F., Simo, J., Casals, J., and Prohens, J. (2017). toward an evolved concept of landrace. *Front. Plant Sci.* 8:145. doi: 10.3389/fpls.2017.00145
- Castilho Maro, L. A., Pio, R., Santos Guedes, M. N., Patto de Abreu, C. M., and Abreu Moura, P. H. (2014). Environmental and genetic variation in the post-harvest quality of raspberries in subtropical areas in Brazil. *Acta Sci. Agron.* 36, 323–328. doi: 10.4025/actasciagr.v36i3.18050
- Cosio, M. S., Ballabio, D., Benedetti, S., and Gigliotti, C. (2006). Geographical origin and authentication of extra virgin olive oils by an electronic nose in combination with artificial neural networks. *Anal. Chim. Acta* 567, 202–210. doi: 10.1016/j.aca.2006.03.035
- Díaz, C., Conde, J. E., Estévez, D., Pérez Olivero, S. J., and Pérez Trujillo, J. P. (2003). Application of multivariate analysis and artificial neural networks for the differentiation of red wines from the Canary Islands according to the island of origin. *J. Agric. Food Chem.* 51, 4303–4307. doi: 10.1021/jf0343581
- EC No 905/2002 (2002). *Commission Regulation (EC) No 905/2002 of 30 May 2002 Supplementing the Annex to Regulation (EC) No 2400/96 on the Entry of Certain Names in the 'Register of Protected Designations of Origin and Protected Geographical Indications' OJ L 142/2*. Brussels: European Commission.
- Florez, A., Pujola, M., Valero, J., Centelles, E., Almirall, A., and Casañas, F. (2009). Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 113, 950–956. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.08.036
- Hornick, S. B. (1992). Factors affecting the nutritional quality of crops. *Am. J. Altern. Agric.* 7, 63–68. doi: 10.1017/S0889189300004471
- ISO 8589 (2007). *Sensory Analysis – General Guidance for the Design of Test Rooms*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Lee, J., Ha, I., Kim, H., Choi, S., Lee, S., Kang, J., et al. (2016). Regional differences in onion bulb quality and nutrient content, and the correlation between bulb characteristics and storage loss. *Korean J. Hortic. Sci.* 34, 807–817. doi: 10.12972/kjhst.20160085
- Lombardo, S., Pandino, G., and Mauromicale, G. (2018). The influence of pre-harvest factors on the quality of globe artichoke. *Sci. Hortic.* 233, 479–490. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.036
- Magwaza, L. S., and Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products—a review. *Sci. Hortic.* 184, 179–192. doi: 10.1016/j.scienta.2015.01.001
- Mallor, C., Balcells, M., Mallor, F., and Sales, E. (2011). Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the Spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. *Plant Breed.* 130, 55–59. doi: 10.1111/j.1439-0523.2009.01737.x
- Morris, C. E., and Sands, D. C. (2006). The breeder's dilemma - yield or nutrition? *Nat. Biotechnol.* 24, 1078–1080. doi: 10.1038/nbt0906-1078
- Newton, A. C., Akar, T., Baresel, J. P., Bebeli, P. J., Bettencourt, E., Bladenopoulos, K. V., et al. (2010). Cereal landraces for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 237–269. doi: 10.1051/agro/2009032
- Ntatsi, G., Egea Gutierrez-Cortines, M., Karapanos, I., Barros, A., Weiss, J., Balliu, A., et al. (2018). The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors. *Sci. Hortic.* 232, 191–205. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.058
- Pérez-Elortondo, F. J., Symoneaux, R., Etaio, I., Coulon-Leroy, C., Maître, I., and Zannoni, M. (2018). Current status and perspectives of the official sensory control methods in protected designation of origin food products and wines. *Food Control* 88, 159–168. doi: 10.1016/j.foodcont.2018.01.010
- Petropoulos, S. A., Fernandes, A., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., and Ntatsi, G. (2015). Morphological, nutritional and chemical description of “Vatikiotiko”, an onion local landrace from Greece. *Food Chem.* 182, 156–163. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.03.002
- Petropoulos, S. A., Ntatsi, G., and Ferreira, I. C. F. R. (2017). Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: a critical review. *Food Rev. Int.* 33, 62–83. doi: 10.1080/87559129.2015.1137312
- Plans, M., Simó, J., Casañas, F., Romero del Castillo, R., Rodriguez-Saona, L. E., and Sabaté, J. (2014). Estimating sensory properties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by near infrared spectroscopy. *Food Res. Int.* 56, 55–62. doi: 10.1016/j.foodres.2013.12.003
- R Core Team (2017). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Romero del Castillo, R., Almirall, A., Valero, J., and Casanas, F. (2008). Protected designation of origin in beans (*Phaseolus vulgaris* L.): towards an objective approach based on sensory and agromorphological properties. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1954–1962. doi: 10.1002/jsfa.3303
- Romano, R., Brockhoff, P. B., Hersleth, M., Tomic, O., and Naes, T. (2008). Correcting for different use of the scale and the need for further analysis of individual differences in sensory analysis. *Food Qual. Prefer.* 19, 197–209. doi: 10.1016/j.foodqual.2007.06.008
- Sekara, A., Pokluda, R., Del Vacchio, L., Somma, S., and Caruso, G. (2017). Interactions among genotype, environment and agronomic practices on production and quality of storage onion (*Allium cepa* L.) - A review. *Hortic. Sci.* 44, 21–42. doi: 10.17221/92/2015-HORTSCI
- Simó, J., Romero del Castillo, R., Almirall, A., and Casañas, F. (2012a). “Roquerola” and “Montferri” first improved onion (*Allium cepa* L.) cultivars for “calçots” production. *Hortscience* 47, 801–802.
- Simó, J., Romero del Castillo, R., and Casañas, F. (2012b). Tools for breeding ‘calçots’ (*Allium cepa* L.), an expanding crop. *Afr. J. Biotechnol.* 11, 11065–11073. doi: 10.5897/AJB12.904
- Simó, J., Valero, J., Plans, M., Romero del Castillo, R., and Casañas, F. (2013). Breeding onions (*Allium cepa* L.) for consumption as “calçots” (second-year resprouts). *Sci. Hortic.* 152, 74–79. doi: 10.1016/j.scienta.2013.01.011
- Smale, M., Bellon, M. R., Jarvis, D., and Sthapit, B. (2004). Economic concepts for designing policies to conserve crop genetic resources on farms. *Genet. Resour. Crop Evol.* 51, 121–135. doi: 10.1023/b:gres.0000020678.82581.76
- Spanish food composition database (2018). *Spanish Food Composition Database*. Available at: http://www.bedca.net/bdpub/index_en.php [accessed Jan 11, 2018].
- Veteläinen, M., Negri, V., and Maxted, N. (2009). *European Landraces on Farm Conservation, Management and Use*. Rome: Bioversity International.
- Villa, T. C., Maxted, N., Scholten, M. A., and Ford-Lloyd, B. V. (2005). Defining and identifying crop landraces. *Plant Genet. Res.* 3, 373–384. doi: 10.1079/PGR200591
- Zeven, A. C. (1998). Landraces: a review of definitions and classifications. *Euphytica* 104, 127–139. doi: 10.1023/A:1018683119237
- Zudaire, L., Vinas, I., Abadias, M., Simo, J., Echeverria, G., Plaza, L., et al. (2017). Quality and bioaccessibility of total phenols and antioxidant activity of calçots (*Allium cepa* L.) stored under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 134, 122–123. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.03.013

Conflict of Interest Statement: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2018 Sans, Casals and Simó. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Capítol 2

Nutritional values of raw and cooked 'calçots' (*Allium cepa* L. resprouts), an expanding crop

Sans, S., Bobo, G., Zudaire, L., Lafarga, T., Sabaté, J., Casals, J., & Simó, J. (2019)

Journal of the Science of Food and Agriculture

PUBLICATION 2

Silvia Sans, Gloria Bobo, Lorena Zudaire, Tomás Lafarga, Josep Sabaté, Joan Casalsa, and Joan Simó. *Nutritional values of raw and cooked ‘calçots’ (Allium cepa L. resprouts), an expanding crop.* "Journal of The Science of Food and Agriculture" Vol. 99, #11, 30 August 2019, p.4985-4992

doi.org/10.1002/jsfa.9733

ATTENTION*ii*

Pages 65 to 72 of the thesis are available at the editor's web

<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10970010>

Capítol 3

Determination of chemical properties in 'calçot' (*Allium cepa* L.) by near infrared spectroscopy and multivariate calibration

Sans, S., Ferré, J., Boqué, R., Sabaté, J., Casals, J., & Simó, J. (2019)

Food Chemistry, 262, 178-183

PUBLICATION 3

Silvia Sans, Joan Ferré, Ricard Boqué, José Sabaté, Joan Casals, Joan Simó. *Determination of chemical properties in 'calçot' (Allium cepa L.) by near infrared spectroscopy and multivariate calibration* "Food Chemistry", October 2018, vol. 262, p. 178-183

doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.102

ATTENTION!

Pages 75 to 80 of the thesis are available at the editor's web

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618307428>

A close-up, high-angle photograph of a field of green onions. The onions are densely packed in rows, with their bright green stalks standing upright. The background shows more rows of onions stretching into the distance. The lighting is bright, highlighting the texture of the onion stalks.

Capítol 4

Estimating sensory properties with near-infrared spectroscopy: a tool for quality control and breeding of 'calçots' (*Allium cepa* L.)

Sans, S., Ferré, J., Boqué, R., Sabaté, J., Casals, J., & Simó, J.

Food Chemistry (Submitted)

Estimating sensory properties with near-infrared spectroscopy: a tool for quality control and breeding of ‘calçots’ (*Allium cepa* L.)

Silvia Sans^{a,c,*}, Joan Ferré^b, Ricard Boqué^b, José Sabaté^{a,c}, Joan Casals^{a,c}, Joan Simó^{a,c}

^a Departament d’Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, Campus Baix Llobregat, Esteve Terrades 8, 08860 Castelldefels, Spain

^b Universitat Rovira i Virgili, Department of Analytical Chemistry and Organic Chemistry, Campus Sescelades, 43007 Tarragona, Spain

^c Fundació Miquel Agustí, Campus Baix Llobregat, Esteve Terrades 8, 08860 Castelldefels, Spain

*Corresponding author. Tel.: +34 522 12 28. E-mail address: silvia.sans.molins@upc.edu (S. Sans).

ABSTRACT

Using trained panelists to evaluate sensory attributes is unfeasible when many samples must be evaluated, such as in quality control or breeding programs. Near-infrared spectroscopy (NIRS) is a rapid inexpensive method often used in food quality evaluation. We assessed the feasibility of using NIRS to estimate sweetness, fiber perception, and off-flavors, the most important sensory attributes in cooked ‘calçots’ (the immature floral stems of second-year onion resprouts). The best results were achieved through models using interval partial least squares (iPLS) variable selection on spectra from pureed cooked ‘calçots’, which yielded values of the ratio of performance to deviation (RPD) greater than 1.4 in all cases. Therefore, it would be feasible to use NIRS to estimate sensory properties in ‘calçots’. This approach would be useful in initial screening to discard samples that differ substantially from the ideotype; thus, sensory analysis by trained panels could be reserved for finer discriminations.

KEYWORDS ‘calçot’, NIRS, sensory analysis, quality control, PLS, onion

1. INTRODUCTION

‘Calçots’ (*Allium cepa* L.) are the immature floral stems of second-year ‘Blanca Tardana de Lleida’ (BTL) onion landrace resprouts. This crop is typical of Catalonia (Northeast Spain), where ‘calçots’ are typically prepared by roasting on a hot open fire. Although official economic data are lacking, the market volume for ‘calçots’ is estimated at €20 million (Simó, Pascual, Cañizares & Casañas, 2014). However, the economic importance of ‘calçots’ lies not only in their production, but also in associated agro-tourism, which boosts the regional economy and has increased the demand for ‘calçots’ worldwide.

‘Calçots’ from the traditional cultivation area have been awarded the European Union’s food-quality label ‘Protected Geographical Indication’ (PGI) (EC No 905/2002). To date, the PGI’s regulating board has focused the quality control of ‘calçots’ on morphological traits (length and width of the edible part), but producers aim to highlight the internal quality, especially organoleptic attributes.

The sensory ideotype representing consumer preferences of the ideal 'calçot' is sweet, with low fiber perception, and without off-flavors (Simó, Romero del Castillo & Casañas, 2012). The evaluation of sensory attributes requires trained panelists to apply standardized methods and a considerable amount of sample. Since only a few samples can be evaluated in each session, panelists must meet several times, making it impracticable to analyze large numbers of samples (Dawson & Healy, 2018). These limitations discourage breeders from including sensory traits in breeding programs and limit the scope of the regulating authority's efforts at quality control. Therefore, other approaches are needed to replace or complement traditional sensory analysis.

Chemical analysis has been used to estimate sensory attributes in various crops, including peaches (*Prunus persica* L.) (Colaric, Verberic, Stampar & Hudina, 2005), melons (*Cucumis melo* L.) (Escribano, Sanchez & Lazaro, 2010), rice (*Oryza sativa* L.) (Bett-Garber, Lea, McClung & Chen, 2013), onions (Wall & Corgan, 1992; Crowther et al., 2005), tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) (Tieman et al., 2012), and apples (*Malus x domestica*) (Harker, Marsh, Young, Murray, Gunson and Walker, 2002), and correlations between sensory attributes and chemical parameters have been established for 'calçots' (Sans, Casals & Simó, 2018). Nevertheless, standard chemical analyses are expensive, laborious, and time-consuming. Besides, organoleptic properties can be difficult to predict from isolated chemical data because these properties result from interactions among various compounds (Bayarri and Costell, 2010).

Near-infrared spectroscopy (NIRS) is widely used for food evaluation because it is fast and easy to apply, inexpensive, and enables the simultaneous estimation of different properties from a single spectrum. NIRS has been widely used in the agri-food industry, for example is often used to evaluate food quality (Su, He & Sun, 2017), to control food safety (Qu, et al., 2015), and to detect food adulterations (Kamal & Karoui, 2015). Also, albeit to a lesser extent, NIRS has been used to estimate sensory attributes in products such as wine (Cayuela, Puertas & Cantos-Villar, 2017), green tea (Li, Guo, Zong, He, Fan & Gong, 2019), coffee (Ribeiro, Ferreira & Salva, 2011), chicory (François et al., 2008), beans (Plans, Simó, Casañas, Romero del Castillo, Rodriguez-Saona & Sabaté, 2014), potatoes (van Dijk, Fischer, Holm, Beekhuizen, Stolle-Smits & Boeriu, 2002), and meat and fish products (González-Mohino, Antequera, Ventanas, Caballero, Mir-Bel & Pérez-Palacios, 2018; Nilsen & Esaiassen, 2005), among others. These studies have shown that NIRS is a useful tool for sensory evaluation when combined with chemometrics.

In 'calçots', NIRS has been applied to determine some chemical properties (dry matter content, soluble solid content, titratable acidity, and ash content), providing good results (Sans, Ferré, Boqué, Sabaté, Casals and Simó, 2018). The present study aims to investigate the usefulness of NIRS in the sensory evaluation of cooked 'calçots'. To this end, we developed models to estimate sweetness, fiber perception, and off-flavors, the sensory attributes included in the ideotype of 'calçots' promoted by the PGI.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Samples

The experiment used 85 samples of cooked 'calçots'. Each sample comprised a set of 80 commercial 'calçots' (PGI regulations define commercial 'calçot' as having a compact white edible base measuring 15-25 cm in length and 1.7-2.5 cm in diameter 5 cm from the root). To ensure variation in sensory attributes and to take into account the influence of environmental factors on quality traits (Sans, et al., 2018), samples were harvested in different environments (inside and outside the PGI area) during three consecutive seasons: 2014-15, 2015-16, and 2016-17.

2.2 Sample preparation

Samples were prepared as described by Simó et al. (2012). Leaves were cut 4 cm above the ligule and roots were removed. Then 'calçots' were cleaned with tap water to remove adhering soil. Samples were roasted at 270 °C for 18 minutes using a convection oven (SALVA Kwik-co). After cooking, the two most external leaves were removed, and the lower, edible part was cut off and pureed with a mixer (Taurus BAPI 850). Half the pureed samples were dried for 72 h at 60 °C and then ground to an average particle size < 0.4 mm to obtain ground dried puree. The remaining pureed samples were frozen with liquid nitrogen and stored at -20 °C until their sensory analysis and NIR registration.

2.3 Sensory analysis

A panel of 8 trained judges used previously reported protocols for quantitative descriptive sensory analysis (Simo et al., 2012) to analyze samples of 'calçot' puree. Briefly, in each session, judges used a semi-structured visual scale labeled from 0 to 10 to evaluate organoleptic descriptors (sweetness, fiber perception, and off-flavors) in 5 different samples. All tests were carried out in a room designed for sensory tests that fulfilled the standards specified by the International Organization for Standardization (ISO 8589, 2007). All samples were evaluated in duplicate.

2.4 Spectral measurement

NIR spectra of cooked 'calçots' were recorded from two types of preprocessed samples: puree and ground dried puree. Spectra were registered with a spectrophotometer (Foss NIRSystems model 5000, Silver Spring, MD, USA) equipped with a rapid content analyzer module and Vision software, version 2.51. Spectra were recorded every 2 nm between 1100 nm to 2500 nm and averaged from 32 scans. Puree samples were measured in reflectance mode, and ground dried puree was measured in transmittance mode. The spectrum was expressed as $\log(1/R)$. Three spectra were registered for each sample and the average spectrum was used for computations.

2.5 Data analysis

To ensure that significant variation had been detected for the three sensory attributes (sweetness, fiber perception, and off-flavors) evaluated by the tasting panel, sensory data were analyzed using ANOVA according to the following linear model: $X_{ij} = \mu + s_i + p_j + sp_{ij} + \varepsilon_{ij}$, where s is the sample factor and p the panelist factor.

Prediction models were built using partial least squares (PLS) regression with the NIPALS algorithm as implemented in PLS_Toolbox v.8.21 software (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, USA). After exploring spectra by principal component analysis (PCA) to detect clustering due to season or origin, samples were randomly divided into 2 groups so that about 75% of the samples could be used for calibration and 25% for external validation.

To obtain the best models, the following spectral pretreatments were tested to reduce unwanted variation due to sources unrelated to the properties of interest: multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variate (SNV), Savitzky-Golay (SG) first- and second-order derivatives with second order polynomial approximation and different point window size, and combinations of these methods. In all cases, the pretreated spectra and the values of the sensory attributes were mean-centered before being submitted to the regression algorithm. To increase the predictive accuracy of the models, we compared the results using both the full spectrum and specific spectral regions. To select variables, interval PLS (iPLS) was used (Nørgaard, Saudland, Wagner, Nielsen, Munck and Engelsen, 2000), configuring the iPLS algorithm in stepwise forward mode, with interval size of 1 variable and using between 10 and 50 intervals.

PLS regression models were evaluated using a venetian blind cross-validation with 10 data splits. Combinations of data pretreatments and different numbers of factors were tried out with aim of constructing a model with a good enough compromise among a low root mean square error of calibration (RMSEC), low root mean square error of cross-validation (RMSECV), high coefficient of determination (R^2), and low bias. The optimal PLS models were finally tested with the external validation set (25% of the original samples) that had not been used for calibration. The root mean square error of prediction (RMSEP) evaluated with these samples was used as an estimate of the future performance of the calibration model. Also, the model's predictive ability was assessed with the ratio of performance to deviation (RPD) and the relative ability of prediction (RAP), calculated as follows: $RPD = \frac{SD_x}{RMSEP}$ and $RAP = \frac{SD_x^2 - RMSEP^2}{SD_x^2 - S_{ref}^2}$, where SD_x is the standard deviation of the validation reference data, and S_{ref} is the standard error of the reference method, which indicates the uncertainty of the analysis due to the panelist.

The RPD is a dimensionless index widely used to evaluate NIRS models in agricultural products (Bellon-Maurel, Fernandez-Ahumada, Palagos, Roger, & McBratney, 2010). The RAP takes into account both the error of NIRS prediction and the uncertainty of the panelists' evaluations; it has a value between 0 and 1 (Martens & Martens, 1986).

In all cases, spectra from puree and ground dried puree were treated independently. Data were analyzed with the PLS_Toolbox v.8.21 (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, USA) and in-house routines running under MATLAB R2017a (The MathWorks™ Inc., Natick, MA, USA).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Sensory analysis

In the ANOVA, both the sample and panelist factors, but not the interaction between them, were significant ($p < 0.05$) for the three sensory attributes. The significance of the panelist factor indicates that panelists were using the scales differently in their evaluations; this finding is common in descriptive sensory analyses, and it is related to slight differences in the reference values that panelists learn (Romano, Brockhoff, Hersleth, Tomic & Naes, 2008). However, the lack of a significant interaction between the panelist and sample factors indicates that the panel adequately discriminated between phenotypic differences.

Table 1 shows the means, standard deviations, and ranges of the sensory attributes scored by the panel and divided into calibration and validation sets. To develop robust calibration models, it is critical to obtain a wide range of values for each attribute to be correlated with the NIR measurements. The values of the attribute sweetness were widely dispersed, reflecting the variability commonly found in 'calçots'. The values of the attributes fiber perception and off-flavors were mostly at the lower end of the scale, resulting in a narrower range, especially for the attribute off-flavors; however, these findings were expected because 'calçots' from BTL varieties usually have low values of these attributes in comparison with 'calçots' from other onion varieties (Simó et al., 2012).

Table 1. Statistics (range, mean, and standard deviation) for the sensory attributes measured by the trained panel in the calibration and validation sets.

Sensory attribute	Calibration set (n= 64)			Validation set (n=21)			S _{ref}
	Range	Mean	SD	Range	Mean	SD	
Sweetness	3.40-8.11	6.41	1.02	3.59-8.15	6.48	1.30	0.32
Fiber perception	0.23-7.73	1.60	1.27	0.39-3.74	1.75	0.90	0.28
Off-flavors	0.36-5.86	1.73	1.13	0.68-4.25	1.89	1.14	0.37

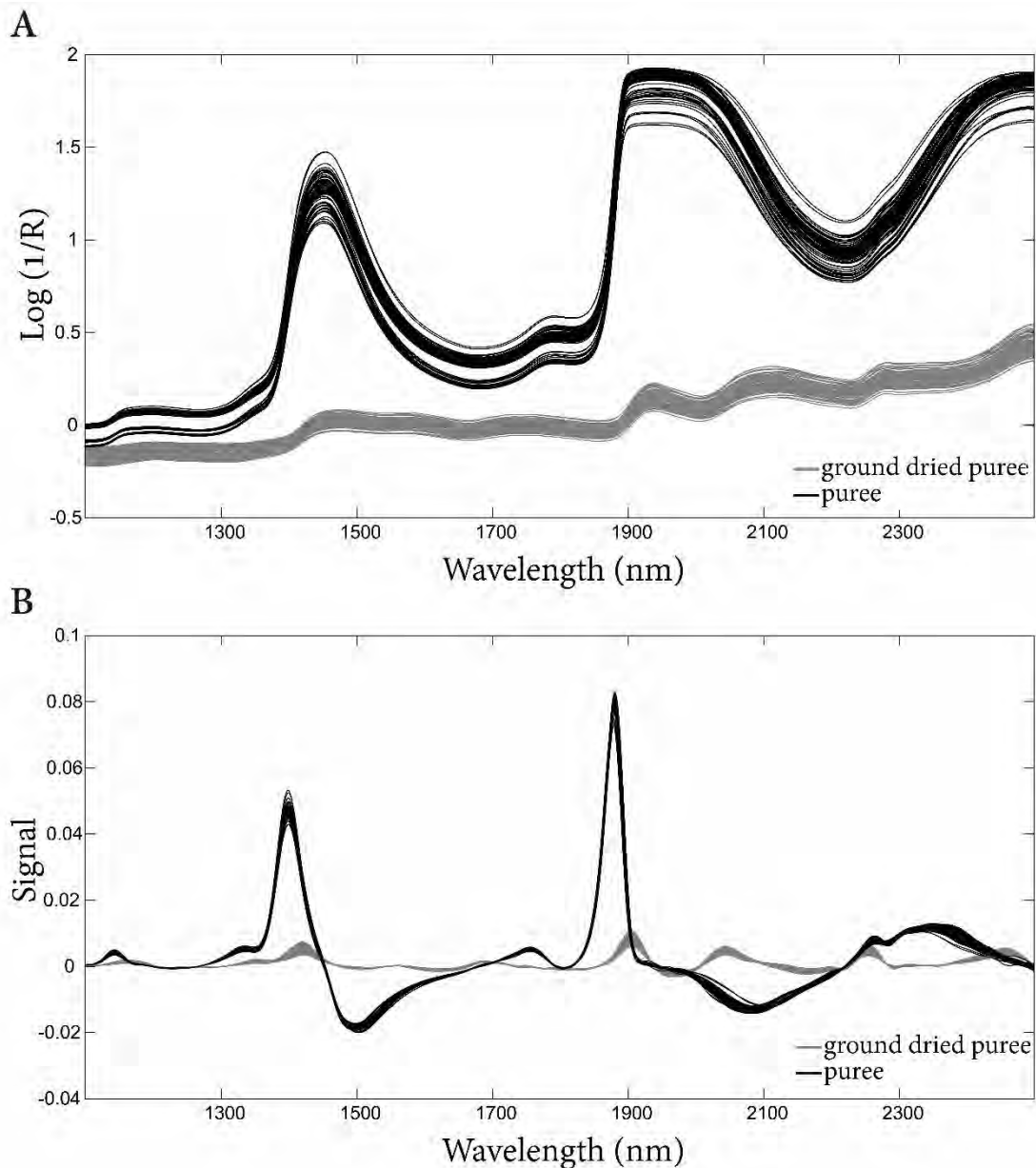
SD: standard deviation; S_{ref}: standard error

3.2 NIRS to estimate sensory attributes

Figure 1 shows the raw and pretreated spectra measured from puree and ground dried puree samples. The main difference between the spectra from puree and ground dried samples is that the spectra from puree, strongly influenced by water bands, have two characteristic absorption peaks around 1450 nm (stretch of the O–H bonds,

first overtone) and 1940 nm (stretch of the O–H bonds and O–H deformation). PCA of SNV-pretreated spectra showed no clustering due to season or origin in the score plots (results not shown). The first two principal components explained 92.09% and 89.70% of the variation for puree and ground dried puree samples, respectively.

Figure 1. (A) Raw spectra from puree and ground dried puree; (B) pretreated spectra (SNV) from puree and ground dried puree.



First, we developed PLS regression models to estimate the sensory attributes, using the entire spectral range and separately using spectra from either puree or ground dried puree samples. We established the optimal number of PLS factors as that which did not significantly reduce the RMSECV when the number of factors increased.

Nevertheless, to prevent overfitting, we set the upper limit of optimal PLS factors at one PLS factor per ten calibration samples, plus 2 (Ruiz-Jiménez, Priego-Capote, & Luque de Castro, 2006). The performance of the models varied for each sensory attribute and for the two sample preparations. In general, using the entire spectral range, the best prediction was for the attribute sweetness found using spectra from puree ($R^2_{\text{pred}}=0.66$ and $\text{RMSEP}=0.78$). By contrast, PLS models yielded poor results for the attribute off-flavors, both using puree spectra ($R^2_{\text{pred}}=0.31$ and $\text{RMSEP}=0.93$) and ground dried puree spectra ($R^2_{\text{pred}}=0.27$ and $\text{RMSEP}=0.96$), and for the attribute fiber perception using ground dried puree spectra ($R^2_{\text{pred}}=0.26$ and $\text{RMSEP}=0.87$) (Table 2).

To improve the models developed using the entire spectral range, we used iPLS variable selection (Figure 2, Table 3). Once again, sweetness was the parameter best predicted, in both puree ($R^2_{\text{pred}}=0.66$ and $\text{RMSEP}=0.76$) and ground dried puree samples ($R^2_{\text{pred}}=0.72$ and $\text{RMSEP}=0.73$). In general, iPLS improved the prediction of all the attributes, especially sweetness (ground dried puree) and off-flavors (Puree) (Table 2 and Table 3).

Table 2. Statistical descriptors for NIRS determinations using all the spectra.

Trait	Spectra	Pretreatment	LVs	R^2_{cal}	RMSEC	R^2_{CV}	RMSECV	R^2_{pred}	RMSEP	RPD	RAP
Sweetness	Puree	m.c.	8	0.56	0.68	0.34	0.84	0.66	0.78	1.67	0.68
	GD puree	1D (15)+m.c.	9	0.75	0.51	0.49	0.74	0.57	0.98	1.32	0.46
Fiber perception	Puree	2D (21)+m.c.	5	0.69	0.71	0.43	0.99	0.55	0.63	1.43	0.57
	GD puree	2D (15)+m.c.	8	0.80	0.57	0.54	0.87	0.26	0.87	1.04	0.08
Off-flavors	Puree	SNV+m.c.	8	0.53	0.77	0.24	1.03	0.31	0.93	1.22	0.37
	GD puree	m.c.	3	0.43	0.84	0.36	0.90	0.27	0.96	1.19	0.32

GD puree: ground dried puree; LVs: number of latent variables; cal: calibration; CV: cross-validation; pred: prediction; m.c.: mean centering; SNV: standard normal variate; SG-1D: Savitzky-Golay first-order derivative; SG-2D: Savitzky-Golay second-order derivative; between parentheses: window size.

Table 3. Statistical descriptors for NIRS determinations using iPLS variable selection.

Trait	Spectra	Pretreatment	N° of intervals	LVs	R^2_{cal}	RMSEC	R^2_{CV}	RMSECV	R^2_{pred}	RMSEP	RPD	RAP
Sweetness	Puree	m.c.	15	9	0.65	0.60	0.54	0.70	0.66	0.76	1.71	0.70
	GD puree	1D (15)+m.c.	15	10	0.74	0.51	0.63	0.62	0.72	0.73	1.78	0.73
Fiber perception	Puree	2D (21)+m.c.	10	4	0.69	0.71	0.56	0.85	0.58	0.64	1.41	0.55
	GD puree	2D (15)+m.c.	15	8	0.88	0.44	0.82	0.53	0.42	0.82	1.10	0.20
Off-flavors	Puree	SNV+m.c.	30	10	0.68	0.64	0.43	0.88	0.57	0.77	1.48	0.61
	GD puree	m.c.	20	2	0.45	0.83	0.40	0.86	0.20	1.02	1.12	0.22

GD puree: ground dried puree; LVs: number of latent variables; cal: calibration; CV: cross-validation; pred: prediction; m.c.: mean centering; SNV: standard normal variate; SG-1D: Savitzky-Golay first-order derivative; SG-2D: Savitzky-Golay second-order derivative; between parentheses: window size.

Figure 2. The optimal combination (low RMSECV) of spectral intervals determined by iPLS variable selection (dark grey) for puree (left side) and ground dried puree (right side).

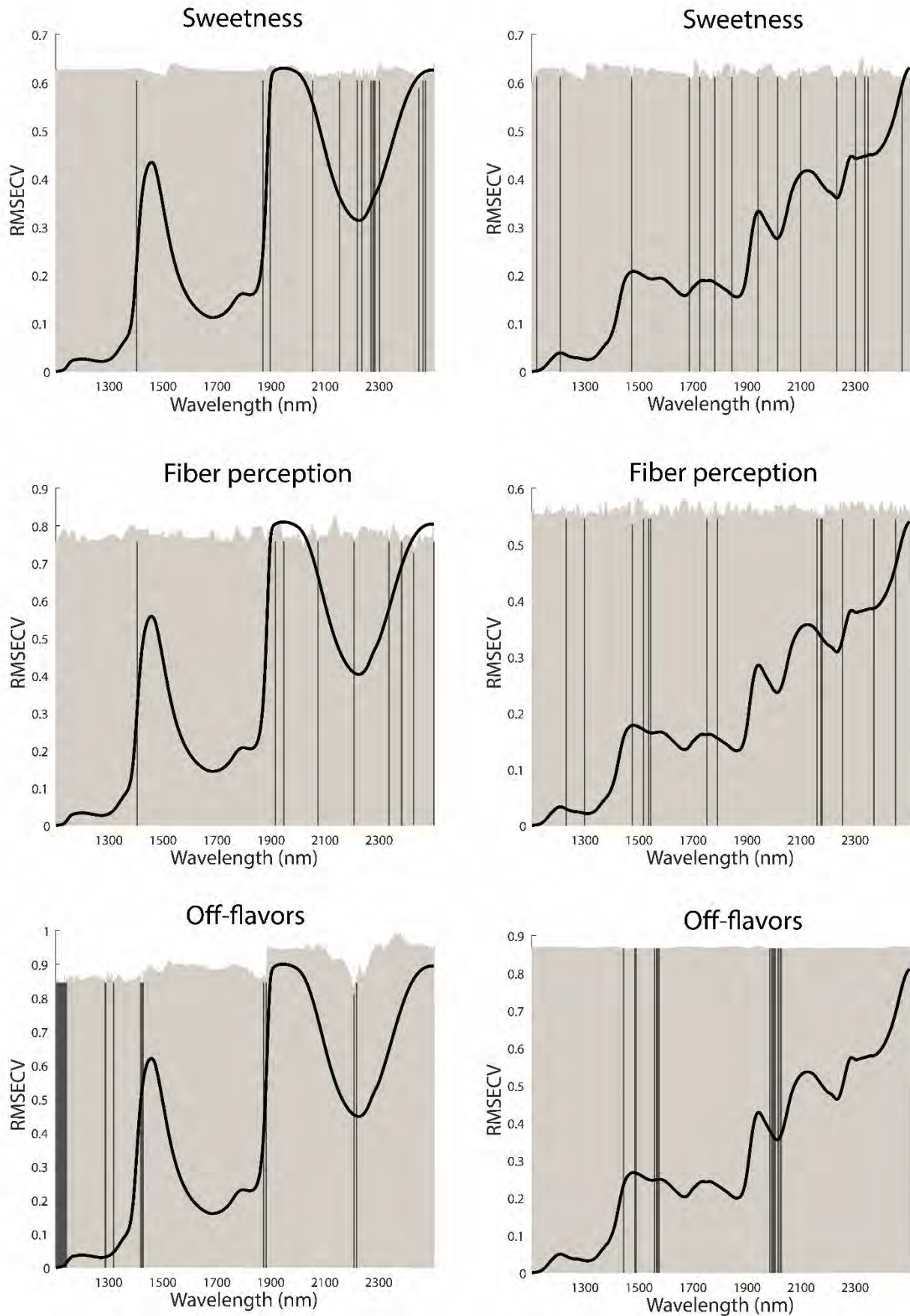


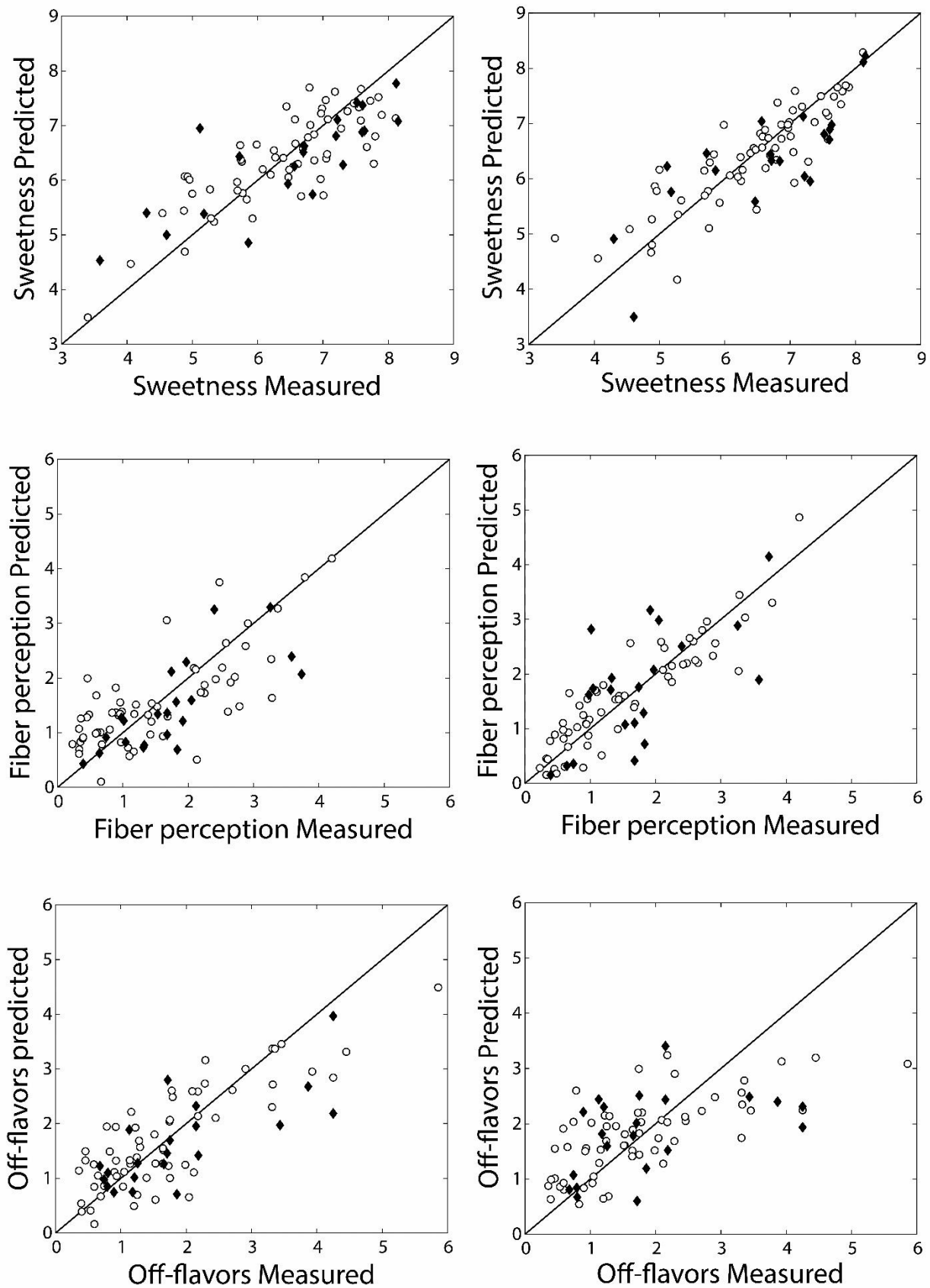
Figure 3 plots NIRS-predicted values for puree and ground dried puree versus reference values of sensory attributes for the models developed using iPLS variable selection, which generally yielded better predictions than the models calculated from the entire spectra. In general, for the sensory attributes, PLS models developed from puree spectra yielded better predictions than those developed from ground dried puree, with the exception of sweetness, where scant differences were found between the two (Table 3). The better performance of the models developed from puree are to be expected because panelists evaluated the samples as a puree, and the process of drying and grounding probably changed the properties of the samples.

The dimensionless parameter RPD is commonly used to evaluate the predictive ability of NIRS, and the reliability of the model is commonly classified into three quality categories: excellent ($RPD > 2$), fair ($1.4 < RPD < 2$), or poor ($RPD < 1.4$) (Bellon-Maurel et al., 2010; Jiang and Chen, 2015). According to these thresholds, the models we developed could be considered useful for predicting sweetness from NIRS on puree and ground dried puree and for predicting fiber perception and off-flavors from NIRS on puree (Table 3). However, these thresholds are not based on statistical analyses, and some researchers have used much higher thresholds (Bellon-Maurel et al., 2010). On the other hand, RPD values for sensory attributes are usually lower than those for chemical or physical properties. For example, in the application of NIRS to estimate sensory attributes in different meats, RPD values were in almost all the cases lower than 1.5 (Prieto, Roehe, Lavin, Batten, Andres, 2009). Higher values of RPD (i.e. $RPD > 2$) were reported for some properties in sensory evaluation using NIRS in cheese (Karoui, Pillonel, Schaller, Bosset and De Baerdemaeker, 2006; González-Martín et al., 2011), wine (Cayuela et al., 2017), and chicory hybrids (François et al., 2008). However, in some cases, RPD values were calculated as the ratio of the SD to RMSECV, rather than by external validation of the models.

It is also important to remember that the use of RPD assumes that the errors of the reference method are negligible, which is not the case with sensory analysis (Cayuela et al., 2017). For this reason, previous studies have used the parameter RAP to relate the predictive ability of NIRS to the precision of the panelists' evaluation (Plans et al., 2014). The models developed using iPLS variable selection for sweetness showed values of RAP greater than 0.70 (Table 3), suggesting these models are reliable in predicting this sensory attribute. The best models developed to estimate fiber perception and off-flavors had RAP values greater than 0.5, which are comparable to RAP values reported for other products, such as beans (Plans et al., 2014), peas (Kjostald, Isaksson and Rosenfeld, 1989), or rice (Windham et al., 1997).

On balance, these results demonstrate the potential of NIRS in the evaluation of complex sensory properties in cooked 'calçots', with a pretreatment as simple as pureeing the samples, which makes it possible to homogenize many specimens representative of a stock, thus enabling a good average evaluation with a limited number of registers. Although models developed to estimate sensory attributes are less accurate than those developed to estimate chemical properties (Sans et al., 2018), used together with PLS regression, NIRS promises to be useful for evaluating the sensory attributes of cooked 'calçots' in plant breeding or quality control.

Figure 3. NIRS-predicted versus panel score of sweetness, fiber perception, and off-flavors, using iPLS regression models for puree (left side) and ground dried puree (right side). Black symbols: validation samples, white symbols: calibration samples.



4. CONCLUSIONS

Quality control and plant breeding programs need to analyze large numbers of samples, and rapid, inexpensive phenotyping methods are needed to enable the analysis of sensory attributes. Our results show that it is feasible to use NIRS to estimate the most important sensory attributes in cooked 'calçots': sweetness, fiber perception, and off-flavors. The best approach to predicting these attributes was using iPLS variable selection to develop predictive models from spectra from pureed cooked 'calçots', which yielded RPD values greater than 1.4 in all cases.

Although NIRS models are less robust for sensory attributes than for other properties such as chemical composition, they can be used in the initial screening of samples of cooked 'calçots', allowing the more time-consuming and costly panel sensory analysis to be reserved for only when more accuracy is needed. In the same way, NIRS can help detect materials that would clearly fail to meet the standards of the PGI label, facilitating quality control and helping ensure customer loyalty. In summary, NIRS promises to be a key tool to enable the analysis of sensory properties in 'calçots'.

Funding

This research was carried out with the financial support of ACCIÓ (Generalitat of Catalonia, RD14-1-004), 'Cooperativa de Valls', 'Cooperativa de Cambrils' and PGI 'Calçot de Valls' and This work has been supported by the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Economia i Coneixement (FI-DGR 2015).

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge dr. Manel Alcalà and his team for letting us use the laboratory equipment.

Conflict of interest

None.

References

- Bayarri, S., & Costell, E. (2010). Sensory evaluation of fruit and vegetable Flavors. In Y.H. Hui (Eds.), *Handbook of fruit and vegetable flavors* (pp. 45-58) Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bellon-Maurel, V., Fernandez-Ahumada, E., Palagos, B., Roger, J.-M., & McBratney, A. (2010). Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(9), 1073–1081. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.006>
- Bett-Garber, K. L., Lea, J. M., McClung, A. M., & Chen, M.-H. (2013). Correlation of sensory, cooking, physical,

- and chemical properties of whole grain rice with diverse bran color. *Cereal Chemistry*, 90(6), 521–528. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-12-0126-R>
- Cayuela, J.A., Puertas, B., & Cantos-Villar, E. (2017). Assessing wine sensory attributes using Vis/NIR. *European Food Research and Technology*, 243(6), 941–953. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2807-9>
- Colaric, M., Veberic, R., Stampar, F., & Hudina, M. (2005). Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(15), 2611–2616. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2316>
- Crowther, T., Collin, H. A., Smith, B., Tomsett, A. B., O'Connor, D., & Jones, M. G. (2005). Assessment of the flavour of fresh uncooked onions by taste-panels and analysis of flavour precursors, pyruvate and sugars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 112–120. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1966>
- Dawson, J., & Healy, G. (2018). Flavour evaluation for plant breeders. In I. Goldman (Eds.), *Plant Breeding Reviews* (pp. 215–261). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119414735.ch5>
- EC No 905/2002 (2002). Commission Regulation (EC) No 905/2002 of 30 May 2002 supplementing the Annex to Regulation (EC) No 2400/96 on the entry of certain names in the 'Register of protected designations of origin and protected geographical indications' OJ L 142/2.
- Escribano, S., Sanchez, F. J., & Lazaro, A. (2010). Establishment of a sensory characterization protocol for melon (*Cucumis melo* L.) and its correlation with physical-chemical attributes: indications for future genetic improvements. *European Food Research and Technology*, 231(4), 611–621. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1313-8>
- Francois, I. M., Wins, H., Buysens, S., Godts, C., Van Pee, E., Nicolai, B., & De Proft, M. (2008). Predicting sensory attributes of different chicory hybrids using physico-chemical measurements and visible/near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.011>
- Gonzalez-Martin, M. I., Severiano-Perez, P., Revilla, I., Vivar-Quintana, A. M., Hernandez-Hierro, J. M., Gonzalez-Perez, C., & Lobos-Ortega, I. A. (2011). Prediction of sensory attributes of cheese by near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 127(1), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.105>
- Gonzalez-Mohino, A., Antequera, T., Ventanas, S., Caballero, D., Mir-Bel, J., & Perez-Palacios, T. (2018). Near-infrared spectroscopy-based analysis to study sensory parameters on pork loins as affected by cooking methods and conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4227–4236. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8944>
- Harker, F. R., Marsh, K. B., Young, H., Murray, S. H., Gunson, F. A., & Walker, S. B. (2002). Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), 241–250. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00157-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00157-0)
- ISO 8589. (2007). Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms. In I. O. for Standardization (Ed.). Geneva, Switzerland.

- Jiang, H., & Chen, Q. (2015). Chemometric Models for the Quantitative Descriptive Sensory Properties of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) Using Fourier Transform Near Infrared (FT-NIR) Spectroscopy. *Food Analytical Methods*, 8(4), 954–962. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9978-4>
- Kamal, M., & Karoui, R. (2015). Analytical methods coupled with chemometric tools for determining the authenticity and detecting the adulteration of dairy products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 27–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.007>
- Karoui, R., Pillonel, L., Schaller, E., Bosset, J.-O. & De Baerdemaeker, J. (2007). Prediction of sensory attributes of European Emmental cheese using near-infrared spectroscopy: a feasibility study. *Food Chemistry*, 101, 1121–1129. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.012>
- Kjolstad, L., Isaksson, T., & Rosenfeld, H. J. (1990). Prediction of sensory quality by near-infrared reflectance analysis of frozen and freeze-dried green peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51(2), 247–260. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510212>
- Li, C., Guo, H., Zong, B., He, P., Fan, F., & Gong, S. (2019). Rapid and non-destructive discrimination of special-grade flat green tea using Near-infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A-Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206, 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.07.085>
- Martens, M., and Martens, H. (1986). Near-infrared reflectance determination of sensory quality of peas. *Applied Spectroscopy*, 40, 303–310. <https://doi.org/10.1366/0003702864509114>
- Nilsen, H., & Esaiassen, M. (2005). Predicting sensory score of cod (*Gadus morhua*) from visible spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 38(1), 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.05.001>
- Norgaard, L., Wagner, J., Nielsen, J.P., Munc, L., & Engelsen, S.B. (2000). Interval partial least-squares regression (iPLS): a comparative chemometric study with an example from near-infrared spectroscopy, *Applied Spectroscopy*, 54, 413–419. <https://doi.org/10.1366/0003702001949500>
- Plans, M., Simó, J., Casañas, F., Romero del Castillo, R., Rodriguez-Saona, L. E., & Sabaté, J. (2014). Estimating sensory properties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by near infrared spectroscopy. *Food Research International*, 56(0), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.003>
- Prieto, N., Roehe, R., Lavin, P., Batten, G., & Andres, S. (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Science*, 83(2), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.04.016>
- Qu, J.-H., Liu, D., Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Ma, J., Pu, H., & Zeng, X.-A. (2015). Applications of Near-infrared Spectroscopy in Food Safety Evaluation and Control: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1939–1954. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.871693>
- Ribeiro, J. S., Ferreira, M. M. C., & Salva, T. J. G. (2011). Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. *Talanta*, 83(5), 1352–1358. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.11.001>

- Romano, R., Brockhoff, P. B., Hersleth, M., Tomic, O., & Naes, T. (2008). Correcting for different use of the scale and the need for further analysis of individual differences in sensory analysis. *Food Quality and Preference*, *19*(2), 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.06.008>
- Ruiz-Jimenez, J., Priego-Capote, F., & de Castro, M. D. L. (2006). FT-midIR determination of fatty acid profiles, including trans fatty acids, in bakery products after focused microwave-assisted Soxhlet extraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *385*(8), 1532–1537. <https://doi.org/10.1007/s00216-006-0565-4>
- Sans, S., Casals, J., & Simó, J. (2018). Improving the Commercial Value of the 'Calçot' (*Allium cepa* L.) Landrace: Influence of Genetic and Environmental Factors in Chemical Composition and Sensory Attributes. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1465. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01465>
- Sans, S., Ferré, J., Boqué, R., Sabaté, J., Casals, J., & Simó, J. (2018). Determination of chemical properties in 'calçot' (*Allium cepa* L.) by near infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Food Chemistry*, *262*, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.102>
- Simó, J., Pascual, L., Cañizares, J., Casañas, F. (2014). Spanish onion landraces (*Allium cepa* L.) as sources of germplasm for breeding calçots: a morphological and molecular survey. *Euphytica*, *95*(2), 287–300. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0995-y>
- Simó, J., Romero del Castillo, R., & Casañas, F. (2012). Tools for breeding "calçots" (*Allium cepa* L.), an expanding crop. *African Journal of Biotechnology*, *11*(50), 11065–11073. <https://doi.org/10.5897/AJB12.904>
- Su, W.-H., He, H.-J., & Sun, D.-W. (2017). Non-Destructive and rapid evaluation of staple foods quality by using spectroscopic techniques: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(5), 1039–1051. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082966>
- Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L. M., Blandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A. Z., Rodriguez, G. R., van der Knaap, E., Taylor, M. G., Goulet, C., Mageroy, M. H., Snyder, D. J., Colquhoun, T., Moskowit, H., Clark, D. G., Sims, C., Bartoshuk, L., & Klee, H. J. (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology: CB*, *22*(11), 1035–1039. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.04.016>
- Van Dijk, C., Fischer, M., Holm, J., Beekhuizen, J. G., Stolle-Smits, T., & Boeriu, C. (2002). Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). 1. Relationships between dry matter content, sensory-perceived texture, and near-infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(18), 5082–5088. <https://doi.org/10.1021/jf011509w>
- Wall, M. M., & Corgan, J. N. (1992). Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. *Hortscience*, *27*(9), 1029–1030. <https://doi.org/10.1021/jf011509w>
- Windham, W. R., Lyon, B. G., Champagne, E. T., Barton, F. E., Webb, B. D., McClung, A. M., Moldenhauer, K. A., Linscombe, S., & McKenzie, K. S. (1997). Prediction of cooked rice texture quality using near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chemistry*, *74*(5), 626–632. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.626>



DISCUSSIÓ GENERAL

DISCUSSIÓ GENERAL

L'èxit de les varietats tradicionals a nivell comercial passa per ubicar-les en un nínxol de mercat on els consumidors estiguin interessats per productes amb qualitats diferenciades objectivament. Basar tota l'estratègia de promoció en la singularitat i la tradició (tot el que és tradicional és bo), tal com se sol fer actualment en moltes d'aquestes varietats, sembla que té poc recorregut si no va acompanyat també d'altres característiques objectivables i valorables positivament pel consumidor. Això passa inevitablement per tenir un ampli coneixement sobre les seves qualitats, així com disposar d'eines que permetin mesurar-les i garantir-les.

En l'actualitat, el mercat del calçot es troba en creixement i evolució, i el seu cultiu ja fa anys que ha sobrepassat l'àrea històrica. La diferenciació objectiva del producte, tant per la seva qualitat organolèptica com nutricional, potenciant el valor de la producció de proximitat lligat a una marca geogràfica de qualitat com és una IGP, semblen elements clau per a l'èxit del Calçot de Valls en el futur, ja que l'han de permetre competir amb la resta de calçots que es puguin trobar al mercat.

Fa més de 10 anys que la Fundació Miquel Agustí treballa en la recerca i la transferència en el cultiu del calçot com a resposta a una demanda del Consell Regulador de la IGP Calçot de Valls. Fruit de la feina feta, a dia d'avui, la varietat més utilitzada a la IGP és la nova obtenció Montferri que ha significat pels pagesos, en collites tardanes, un 116% més de producció (Simó *et al.*, 2012a). No obstant, aquest augment en el rendiment no és suficient per competir en un mercat d'oferta globalitzada i de descens de preu, i són de nou els productors els que estan interessats en utilitzar la qualitat del seu producte com a eina de promoció i diferenciació de la IGP.

L'obtenció del segell de qualitat IGP Calçot de Valls va suposar un gran impuls comercial a nivell català, estatal i europeu. Fins ara, el Consell Regulador de la IGP ha centrat la seva exigència de qualitat en l'aparença externa (llargada i gruix de la part comestible, i absència de defectes), però es voldria anar un pas més enllà i incloure en el reglament de la IGP paràmetres sensorials relacionats amb la textura i el gust, així com aspectes relacionats amb el valor nutricional. Si bé el plec de condicions de la IGP Calçot de Valls estableix superficialment les característiques sensorials internes que descriuen el calçot (DAAR, 2009), actualment no es controla cap d'aquests atributs, segurament per la impossibilitat d'avaluar-los de manera senzilla i rutinària.

Partint d'aquesta nova demanda dels productors de la IGP Calçot de Valls, aquesta tesi doctoral s'ha centrat per una banda, en l'avaluació dels components de la qualitat nutricional i sensorial del calçot, així com en l'estudi de la influència dels factors genètics i ambientals sobre aquests atributs. Per altra banda, s'ha estudiat la viabilitat de l'espectroscòpia NIR en l'avaluació de la qualitat nutricional i sensorial del calçot cuit, com a mètode d'anàlisi ràpid i d'implementació rutinària.

1. La millora de la qualitat del Calçot de Valls

El Calçot de Valls és un producte de temporada i normalment el seu consum es reserva a ocasions especials. Això afavoreix que pugui tenir qualitats diferenciades per les quals els consumidors estiguin disposats a pagar un preu més elevat. La possibilitat de garantir aspectes superiors, objectius i demostrables suposaria un avenç en la comercialització dels calçots i la promoció de la marca. A més, tant en el cas de la possibilitat d'obrir el mercat cap a l'exterior, com en l'aposta per l'expansió de la cuina del calçot, és necessari que el consumidor disposi d'aquesta informació, i tingui coneixement de la qualitat sensorial i nutricional del producte que se li ofereix.

En els productes processats, el consumidor està habituat a que l'etiquetatge del producte proporcioni informació relativa a la seves qualitats i a la composició de l'aliment. No és així en els productes frescos, on aquesta informació difícilment hi és present, en part, per la dificultat de situar la informació en el propi producte. No obstant, en el cas del Calçot de Valls IGP, aquest sempre es comercialitza amb una etiqueta que l'identifica, el que facilitaria la transferència d'informació sobre la qualitat del calçot al consumidor.

La millora de la qualitat dels calçots de la IGP, amb l'objectiu de diferenciar-los en el mercat es pot afrontar amb dues aproximacions diferents: a) mitjançant la millora genètica, o bé, b) mitjançant la millora ambiental, modificant les condicions de cultiu (així com de postcollita) i optimitzant les pràctiques de maneig que maximitzin l'expressió dels gens d'interès. Tot això, sense perdre de vista els aspectes d'interacció entre ambdós factors (genètics i ambientals), que precisament justifiquen l'existència de les marques geogràfiques de qualitat. La influència dels factors genètics i ambientals sobre els paràmetres de qualitat, així com la facilitat d'influir sobre cada un d'ambdós factors, farà que s'opti per una o altra estratègia de millora.

1.1 La qualitat sensorial

La qualitat sensorial del calçot es descriu a partir de tres atributs organolèptics (la dolçor, la fibrositat i la presència de gustos estranys). L'idiotip sensorial del calçot (elevada dolçor, baixa percepció de la fibrositat i absència de gustos estranys) es va establir de manera consensuada amb productors i consumidors habituals de calçots (Simó *et al.*, 2012b), considerant-ne només els calçots cuits ja que és la forma habitual de consum d'aquest producte.

Prèviament a l'inici d'aquesta tesi, la FMA ja disposava d'un panel de tastadors entrenat per a l'anàlisi sensorial descriptiu del calçot (Simó *et al.*, 2012b). Aquest panel té anys d'experiència en l'anàlisi del calçot, i en els diferents estudis realitzats en el marc d'aquesta tesi doctoral que han inclòs l'anàlisi sensorial (*capítols 1, 2 i 4*), s'ha pogut corroborar que el panel del calçot funciona correctament. Les

diferències en l'escala que utilitzen alguns tastadors (significació de l'efecte *tastador* en algunes de les avaluacions) és un fenomen força comú en l'anàlisi sensorial descriptiu, degut a petites diferències en la interiorització dels valors de referència per part dels avaluadors (Romano et al., 2008), cosa que es podria solucionar amb un reentrenament d'aquells tastadors que es desvien més de la mitja. Com que la interacció *tastador x producte* no és rellevant en el conjunt de les anàlisis presentades en aquesta tesi, la influència d'aquest fenomen en la potència discriminant de les anàlisis és nul·la.

Tot i el bon funcionament del panel de tast, les dificultats associades a l'anàlisi sensorial, fa que el nombre de mostres que es poden avaluar cada temporada sigui limitat. En moltes espècies, l'anàlisi de paràmetres físico-químics s'ha utilitzat com a estimació indirecta de la qualitat sensorial. Un clar exemple d'això ha estat l'ús generalitzat del contingut en sòlids solubles (SSC, *Soluble Solid Content*), avaluat per refractometria, com a estimació de la dolçor en molts productes hortofructícoles (Magwaza i Opara, 2015). No obstant, el SSC no sempre està correlacionat linealment amb la dolçor. En primer lloc, perquè el SSC s'utilitza com a aproximació del contingut en sucres, malgrat els sucres només constitueixen un percentatge dels sòlids solubles totals, que varia segons el producte. A més a més, en la percepció de la dolçor, hi intervenen altres components més enllà dels sucres. En el *capítol 1* es va analitzar la correlació entre paràmetres químics i sensorials del calçot cuit, incloent la relació contingut en sòlids solubles/acidesa titulable (SSC/TA), que també s'ha utilitzat àmpliament per estimar la dolçor (Magwaza i Opara, 2015). En les mostres de calçot analitzades es va trobar que la dolçor correlacionava positivament amb el contingut en matèria seca, el SSC i la relació SSC/TA, i negativament amb el contingut en cendres i l'acidesa titulable. Pel que fa a la percepció de la fibrositat, aquest caràcter va presentar una correlació positiva amb el contingut en cendres i negativa amb el contingut en matèria seca, el SSC i SSC/TA. Per últim, la presència de gustos estranys presentava una correlació positiva amb l'acidesa titulable i les cendres, i negativa amb la relació SSC/TA. De totes maneres, el nombre de mostres que es van utilitzar per al càlcul d'aquestes correlacions no era gaire alt ($n = 32$) i cap de les estimacions indirectes donaven un coeficient de determinació (R^2) superior a 0.5, pel que caldria realitzar més estudis si es volguessin utilitzar els paràmetres químics com a estimació indirecta dels sensorials.

El gran nombre de mostres analitzades sensorialment en el conjunt dels estudis realitzats ($n = 89$) ha permès explorar el rang de variació fenotípica dels atributs sensorials que avui en dia es troba en el calçot. Si bé l'idiotip del calçot determina el tipus de perfil sensorial que ha de tenir un calçot "ideal", mai s'han establert quantitativament valors límits per els atributs organolèptics que permetin classificar-los. A nivell general, per al caràcter dolçor, la majoria de mostres avaluades s'han situat a la part alta de l'escala (per sobre de 5), i en el cas dels caràcters fibrositat i presència de gustos estranys, a la part baixa de l'escala (per sota de 3).

Si es té en compte l'estudi en que es van avaluar diferents varietats de ceba en la producció de calçots (*capítol 2*), els calçots produïts de la ceba BTL eren els que tenien un perfil sensorial més pròxim a l'idiotip establert. Aquests resultats concorden amb un estudi realitzat prèviament on es va estudiar el perfil sensorial de calçots de més de 15 varietats de ceba diferents (Simó *et al.*, 2012b), i on la ceba BTL també va presentar el perfil sensorial més proper a l'idiotip.

1.2 La qualitat nutricional

Nombroses investigacions apunten als beneficis nutricionals de la ceba, tal i com s'ha explicat en la introducció (*veure apartat 2.3.3 de la introducció*). Això, permet inferir que el cas del calçot hauria de ser similar, no obstant, malgrat es tracta de la mateixa espècie, la part de la planta que s'aprofita és diferent, el que podria fer-ne variar la composició. Previ a la realització d'aquesta tesi, la informació disponible respecte a la composició nutricional del calçot era molt escassa. Com a resposta a l'objectiu marcat de descriure a nivell nutricional el calçot, es va realitzar un estudi en que es va comparar el calçot tradicional, és a dir aquell produït a partir del tipus varietal BTL, amb calçots de 3 altres varietats de ceba (Sabadell, Figueres i Babosa) morfològicament diferents a nivell de bulb, així com en el rendiment (*Figura 1*). A més a més, l'estudi es va dur a terme amb calçots crus i cuits, per veure com afectava el procés de cocció sobre la seva composició.



Figura 1. Varietats de ceba de les que es va estudiar la composició nutricional. De dreta a esquerra: Blanca Tardana de Lleida, Sabadell, Babosa i Figueres.

En general, la composició dels calçots es situa dins el rang de variabilitat que es pot trobar en la bibliografia de la ceba (Barzegar *et al.*, 2008; Perez-Gregorio *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2014; Petropoulos *et al.*, 2015;

BEDCA, 2019; USDA, 2019). Les quatre varietats estudiades diferien en la seva composició, trobant-se diferències estadísticament significatives per a tots els paràmetres estudiats a excepció del contingut d'alguns minerals.

En el cas del calçot BTL, en cru, i en comparació amb les altres tres varietats avaluades, aquest presentava valors intermedis de contingut en matèria seca i sòlids solubles, però es trobava en l'extrem baix per molts dels compostos estudiats (p. ex. contingut en proteïna i cendres), i especialment va presentar un baix contingut de fenols totals, flavonoides i la menor capacitat antioxidant (*veure Taula 2 del capítol 2*). El baix contingut en flavonoides (fracció majoritària de compostos fenòlics en la ceba) dels calçots BTL era esperable, ja que era l'única varietat de les incloses dins l'estudi de color totalment blanc, i dins els flavonoides hi ha els compostos responsables de la coloració en la ceba. Això també explica que l'activitat antioxidant fos menor.

El procés de cocció té un fort impacte sobre la composició dels calçots. En general, la majoria de caràcters estudiats van incrementar en contingut amb la cocció, a excepció de la fibra dietètica, els fenols, els flavonoides, i dos minerals (Ca i Na). No obstant, la cocció no va afectar linealment a les 4 varietats estudiades. En la bibliografia, es troben resultats contradictoris pel que fa a l'efecte de la cocció sobre la composició nutricional de les hortalisses, que varia en funció del mètode de cocció i del producte avaluat, el que podria explicar aquesta no linealitat en l'efecte de la cocció en les diferents varietats (Gorinstein *et al.*, 2005; Turkmen *et al.*, 2005; Bernaert *et al.*, 2014; Sengul *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2015).

Sembla, per tant, que en el cas dels calçots, el procés de cocció té un impacte negatiu sobre el contingut en molècules amb propietats antioxidants com els fenols i en especial, dins d'aquests, els flavonoides, que de mitjana van disminuir un 82,52 %. Això, contrasta amb el fet de que l'activitat antioxidant mesurada va incrementar en les mostres cuites. Aquest increment, es pot atribuir o bé a la alliberació de compostos antioxidants de parts insolubles, o bé a la formació de nous compostos amb capacitat antioxidant durant el procés de cocció (Zudaire *et al.*, 2017).

Pel que fa a la bioaccessibilitat, el procés de digestió *in vitro* va afectar de manera diferent les mostres crues de les cuites, però en general, el contingut en fenols totals va augmentar un cop completat el procés de digestió. Pel que fa a l'activitat antioxidant, en les mostres cuites aquesta es mantenia més o menys constant després de la fase gàstrica, però disminuïa dràsticament després de la fase intestinal, mentre que en les mostres crues, l'activitat antioxidant va variar de manera diferent segons la varietat analitzada i el mètode d'anàlisi. Els resultats obtinguts van en consonància amb estudis realitzats amb d'altres matrius vegetals (Chen *et al.*, 2014).

Tal i com s'ha explicat en la introducció d'aquesta tesi, no tots els nutrients que s'ingereixen són aprofitats per l'organisme. La dràstica disminució de l'activitat antioxidant després de la simulació de

la digestió *in vitro* constata que, en aquells estudis en que no es té en compte la bioaccessibilitat, hi ha una sobreestimació del valor nutricional real dels aliments. La mateixa reflexió es pot fer en relació a la cocció dels aliments. Com s'ha vist en el cas del calçot, la cocció té un fort impacte sobre la composició nutricional d'aquests i el mateix passa amb moltes altres hortalisses.

1.3 Influència genètica i influència ambiental

La composició química i nutricional de les plantes, així com el seu perfil sensorial ve determinat tant per factors genètics com ambientals, així com la interacció entre ambdós (Allard, 1999). En això es sustenta la singularitat de les varietats tradicionals, però en el cas del calçot es desconeixia quin factor tenia més pes en la qualitat del calçot, si el genètic o l'ambiental.

Per a l'estudi de la influència genètica i ambiental en els paràmetres de qualitat del calçot es van dur a terme dos experiments que es detallen en els *capítols 1 i 2* d'aquesta tesi. Per una banda, es va realitzar un experiment multilocalitat durant dues temporades de cultiu, estudiant dues èpoques de plantació i dues de collita, per recollir la màxima variabilitat fenotípica existent per al cultiu del calçot. Les localitats es van escollir de manera que fossin representatives de l'àmplia variabilitat d'ambients on es du a terme aquest cultiu a Catalunya, tant a nivell climàtic com del sòl. Com a material vegetal, es van incloure 4 varietats de BTL per representar la variabilitat interna d'aquest tipus varietal, que fins aquell moment només s'havia caracteritzat principalment a nivell agronòmic (productivitat), i per això es van escollir 4 accessions que diferissin significativament en aquest aspecte.

Els resultats obtinguts van mostrar una gran influència de l'ambient en l'expressió dels paràmetres de qualitat estudiats. D'entre els factors ambientals que es van controlar (localitat, data de plantació, data de collita i temporada), la localitat va ser la que va presentar diferències més grans. El factor varietat va resultar significatiu per pocs caràcters (els sensorials per exemple), però aquest factor explicava només un petit percentatge de la variació (molt per sota dels factors ambientals). A més, les diferències a nivell sensorial que es van trobar entre varietats segurament no són detectables per un consumidor estàndard (cal recordar que els panelistes són persones entrenades per discernir diferències petites). Aquesta important influència dels factors ambientals també s'ha vist en el cultiu de la ceba, en caràcters com la pungència, el contingut en sòlids solubles, el contingut en matèria seca, el contingut en C, S i Mg, els fenols totals i els flavonoides (Mallor *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2016).

Donada la complexitat de l'assaig (molts factors ambientals no es podien controlar) no va ser possible establir quins d'aquests factors tenen major efecte, ni com afecten als paràmetres de qualitat. Es va intentar buscar la relació entre paràmetres climàtics i edàfics amb els paràmetres de qualitat avaluats, però els resultats obtinguts no van ser conclouents.

Tenint en compte el gran nombre de mostres amb el que es treballava, només es van avaluar 5 paràmetres químics, per això, en un experiment més reduït (*capítol 2*), i veient que el factor més influent era la localitat, es va voler estudiar l'efecte d'aquest factor sobre les propietats antioxidants del calçot. De nou, es va poder constatar la important influència de l'ambient sobre la qualitat nutricional del calçot.

De manera general, els resultats posen de manifest la gran influència dels factors ambientals sobre els caràcters de qualitat del calçot, mentre que sembla que la influència genètica és molt menor. Això, però, només és vàlid dins el tipus varietal ceba BTL, ja que quan s'afegeix en els estudis altres varietats de ceba amb característiques clarament diferents (*capítol 2*), es veu que la variabilitat genètica és també molt àmplia, el que obre un gran ventall de possibilitats dins el camp de la millora genètica.

El fet de que la variabilitat genètica del valor sensorial i el valor nutricional dins el tipus varietal BTL no sigui gaire gran (considerant cultivars històrics i seleccionats), constata que la millora que es va realitzar sobre el calçot, per a l'obtenció de varietats dins el tipus BTL que presenten un major rendiment, no ha tingut un efecte negatiu sobre la qualitat dels calçots, en contraposició amb el que passa en molts altres cultius amb l'anomenat efecte dilució (*veure apartat 1.1.1 de la introducció*). Això es podria explicar perquè el calçot no és un fruit, i cadascun dels rebrots que produeix una planta és capaç d'autoabastir-se, ja que cada calçot té les seves pròpies fulles i arrels. Per tant, de cara al futur, seguir fent millora del rendiment en aquest cultiu, no sembla que hagi de comprometre la qualitat del calçot.

2. Aplicació de l'espectroscòpia d'infraroig proper en el calçot

Tant en els programes de millora com en el control de qualitat dels productes que es comercialitzen, el nombre de mostres a avaluar és molt elevat. Les metodologies de referència per a l'avaluació química, nutricional i sensorial dels productes hortícoles són laborioses i cares, el que sovint dificulta (o directament impossibilita) que es puguin dur a terme aquestes avaluacions de manera sistemàtica. Un dels objectius de la present tesi, i possible solució per al problema plantejat, era provar el funcionament de la tecnologia NIR per a la determinació d'atributs químics i sensorials en el calçot cuit com a alternativa als mètodes d'anàlisi de referència.

En primer lloc, es van desenvolupar models PLS per determinar mitjançant espectroscòpia NIR els següents atributs químics: contingut en sòlids solubles, contingut en matèria seca, acidesa titulable i contingut en cendres (*capítol 3*). Per altra banda, també es van desenvolupar models per als atributs sensorials: dolçor, fibrositat i gustos estranys (*capítol 4*). En ambdós casos, l'espectre es va registrar a partir de dos pretractaments diferents de les mostres: a) puré de calçot cuit, mesurat en transfectància i b) puré de calçot cuit, sec i molturat (farina), mesurat en reflectància. L'espectre de les mostres de

farina presentava com a avantatge que no hi predominen les bandes d'aigua, com si que passava amb els espectres obtinguts a partir del registre del puré, el que podia dificultar la mesura de compostos minoritaris (Nicolai *et al.*, 2007).

2.1 Ús de l'espectroscòpia NIR per a la predicció de paràmetres químics en calçot

Un dels principals problemes que presenta l'espectroscòpia NIR és que per tal de poder-la aplicar a nivell pràctic, és necessari que en el calibratge del model de predicció s'utilitzin mostres que siguin representatives de la variabilitat fenotípica existent i les seves causes. En el cas que aquí es presenta, per tal d'obtenir models que fossin robustos, es va utilitzar per al calibratge dels models les mostres d'una temporada (temporada 2014-15) i per a la validació d'aquests, mostres de la temporada següent (temporada 2015-16).

Els models PLS desenvolupats mostren la viabilitat de l'ús de l'espectroscòpia NIR com a eina d'anàlisi de paràmetres químics relacionats amb la qualitat nutricional del calçot. El contingut en matèria seca i els sòlids solubles són els paràmetres que millor es van predir, amb errors de predicció molt baixos, inferiors a un 3% respecte al valor mig del paràmetre ($R^2_{\text{pred}}=0,953$ i $0,985$; RMSEP (*Root Mean Square Error of Prediction*) = $0,409$ g/100 g m.f. (matèria fresca) i $0,216$ °Brix respectivament). Per als paràmetres acidesa titulable i contingut en cendres, els models desenvolupats a partir dels espectres registrats del puré de calçot no van resultar satisfactoris ($R^2_{\text{pred}}=0,433$ i $0,435$; RMSEP = $0,023$ i $0,054$ g/100 g m.f. respectivament), en canvi, els models desenvolupats a partir dels registres de la farina si que proporcionaven bones prediccions ($R^2_{\text{pred}}=0,858$ i $0,793$; RMSEP= $0,078$ i $0,331$ g/ 100 g m.s. (matèria seca) respectivament). Això confirma que en la detecció de compostos minoritaris, com és el cas d'aquests dos compostos, que es troben en el calçot en concentracions molt més baixes que per exemple en el cas dels sòlids solubles, el fet d'eliminar l'aigua en el registre NIR millora significativament el nivell de predicció dels models.

El RPD (*Ratio of Performance to Deviation*) és un estadístic àmpliament utilitzat per a l'avaluació dels models de predicció, no obstant, els límits entre el que es considera un bon o un mal model varien segons la bibliografia consultada. En fruites i hortalisses, tenint en compte els llindars que es poden trobar en la literatura, es considera que aquells models amb un RPD a partir de 1,4-1,5 ja tenen una precisió acceptable per poder-los utilitzar, mentre que la capacitat de predicció dels models és excel·lent quan el RPD és superior a 2-4 (Nicolai *et al.*, 2007; Jiang i Chen, 2015; Magwaza *et al.*, 2016; Toledo-Martín *et al.*, 2016; Ncama *et al.*, 2017). Tenint en compte aquests valors, amb l'espectroscòpia NIR es podria determinar amb una bona precisió tots els paràmetres estudiats en el calçot, sent excel·lent per a l'estimació de la matèria seca (RPD = 8,07), el contingut de sòlids solubles (RPD = 4,57) i l'acidesa (RPD = 2,59), mentre que el millor model desenvolupat per a la predicció de les cendres presentaria una precisió acceptable considerant aquests llindars (RPD = 1,99).

Els bons resultats obtinguts en la predicció de paràmetres químics del calçot cuit, obren la possibilitat de seguir desenvolupant aquesta tècnica, amb l'elaboració de nous models per a molts altres compostos. Un dels grans avantatges que presenta l'espectroscòpia NIR és que es tracta d'una tècnica multi-analític, pel que com més models es desenvolupin, més compostos es podran determinar a partir d'un sol anàlisi.

2.2 Ús de l'espectroscòpia NIR per a la predicció d'atributs sensorials en el calçot

Si bé utilitzar l'espectroscòpia NIR per a l'avaluació de paràmetres químics relacionats amb la qualitat del calçot, comporta certes avantatges que faciliten tasques com el control de qualitat o el fenotipat de mostres en programes de millora, quan es tracten els atributs organolèptics, resulta pràcticament indispensable trobar alternatives a l'anàlisi sensorial si es vol incorporar aquests tipus de caràcters en l'avaluació d'un nombre elevat de mostres.

Per tal de garantir que els models desenvolupats fossin robustos, es van utilitzar, tant pel calibratge com per la validació dels models, mostres de diferents camps (de dins i fora de la IGP) i de tres temporades de cultiu (2014-15, 2015-16, 2016-17), per tal de representar la variabilitat a nivell sensorial del cultiu del calçot i obtenir un rang de valors en els tres atributs estudiats el més ampli possible.

El caràcter amb una millor predicció va ser la dolçor ($R^2_{\text{pred}}=0,66$; RMSEP = 0,78) seguit de la fibrositat ($R^2_{\text{pred}}=0,55$; RMSEP = 0,63), utilitzant els registres de puré. En la determinació dels gustos estranys, tant el model desenvolupat a partir dels registres de puré, com a partir dels de farina, van presentar uns errors de predicció elevats. Amb l'objectiu de millorar els models obtinguts, es va utilitzar la selecció de variables iPLS (*interval* PLS) pel càlcul de nous models de predicció.

Els models desenvolupats a partir de les variables seleccionades van millorar respecte als desenvolupats amb les dades de tot l'espectre, en els tres atributs estudiats. La dolçor va tornar a ser el paràmetre amb una millor predicció, tant en el model desenvolupat a partir dels registres de puré com de farina ($R^2_{\text{pred}}=0,66$ i 0,72; RMSEP = 0,76 i 0,73 respectivament), sent la diferència en la capacitat de predicció entre ambdós models molt petita. Pel que fa als atributs fibrositat i gustos estranys, els models desenvolupats a partir del puré presentaven una millor precisió ($R^2_{\text{pred}}=0,58$ i 0,57; RMSEP = 0,64 i 0,77 respectivament), possiblement perquè és la forma en que els tastadors avaluen els calçots, i els canvis ocorreguts durant el procés de deshidratació i molturació per l'obtenció de les farines afecten substancialment l'estructura de les mostres.

Els valors de RPD obtinguts en la validació dels models desenvolupats, han estat per als tres atributs superiors a 1,4, pel que es tracta de models amb una capacitat de predicció acceptable, però cap d'ells arriba a 2. Val a dir, però, que els llindars establerts per determinar la bondat d'un model en base al seu

RPD no tenen una base estadística, i en la bibliografia, en les aplicacions del NIR per a la predicció d'atributs sensorials, els valors baixos de RPD ($<1,5$) són molt comuns. Cal tenir en compte, que l'estadístic RPD assumeix que l'error del mètode de referència és negligible, cosa que no passa amb l'anàlisi sensorial (Andersson i Norgaard, 2013; Cayuela *et al.*, 2017), on les estimacions del panel porten un error associat considerable.

Un estadístic alternatiu és el RAP (*Relative Ability of Prediction*), que té en compte tant l'error de la predicció feta amb el NIR com la incertesa dels tastadors, i té un valor entre 0 i 1, on en el millor dels casos (RAP=1), l'error associat del model és igual a l'error associat a les estimacions fetes pels panelistes (Martens i Martens, 1986). Aquest estadístic s'ajusta millor en l'avaluació de models sensorials, on s'acostuma a tenir una major dispersió en l'anàlisi de referència. Els models desenvolupats per a l'estimació de la dolçor presenten valors de RAP per sobre de 0,7, mentre que per a l'estimació dels atributs fibrositat i gustos estranys, els models obtinguts tenen un RAP superior a 0,55. Aquests són valors similars als obtinguts en altres estudis realitzats amb altres productes com les mongetes seques (Plans *et al.*, 2014), els pèsols (Kjolstad *et al.*, 1990) o l'arròs (Windham *et al.*, 1997).

3. Consideracions finals

Les varietats tradicionals hortícoles presenten algunes virtuts, tals com una bona adaptació agronòmica a ambients particulars amb els que han coevolucionat i una bona disposició a ser cultivades amb baixos inputs. A la vegada, tenen valors culturals associats, doncs, encara estan presents en la gastronomia de molts llocs, o si més no, en la memòria històrica dels consumidors. A més a més, algunes d'elles tenen valors de qualitat objectiva que poden ser acceptats pels consumidors més enllà del valor de "tradicional" com a reclam per al seu ús. No obstant, aquesta informació sobre la qualitat objectiva, rarament es troba descrita i accessible per al consumidor, en especial en els productes frescos. Per això, els resultats presentats en aquesta tesi poden servir de model de treball per a altres varietats tradicionals hortícoles, com a impuls de l'agricultura local, donant valor afegit tant a les varietats com al territori a través del treball dels seus pagesos.

Els resultats indiquen que els calçots cuits tenen una qualitat nutricional similar a la de la ceba (per tant alta) i un valor sensorial que en molts casos és proper al de l'idiotip quan es tracta de poblacions de la ceba BTL. Aquesta informació ja és rellevant per a la promoció de la marca però sempre es pot millorar, en especial si el que es pretén és la diferenciació de la resta de calçots que es poden trobar al mercat. Per la forta influència dels factors ambientals sobre els paràmetres sensorials i nutricionals, sembla que la via més ràpida per avançar seria la de millorar les condicions ambientals incidint en el maneig del cultiu. El disseny experimental utilitzat en els assajos realitzats no ha permès discernir un a un els molts factors que varien entre localitats o temporades de cultiu, per això, a partir d'ara serà necessari realitzar

estudis específics per determinar la influència de factors ambientals sobre els quals es pot actuar, com el treball del sòl, la fertilització o el reg, entre d'altres.

Si es vol optar per la via de la millora genètica, per exemple per millorar la qualitat nutricional, segurament serà necessària la introducció de nova variabilitat encreuant la BTL amb altres varietats de ceba, veient que la variabilitat dins el tipus varietal BTL és escassa per als paràmetres de qualitat. Per una banda, s'haurà de tenir en consideració la base genètica de cada caràcter en concret. En els caràcters en els quals es puguin identificar gens mendelians importants es podria pensar en utilitzar el retroencreuament com a mètode de millora. Malauradament, aquesta situació no és gaire freqüent per als caràcters de qualitat. A més, en plantes al·lògames el retroencreuament només és útil si es pensa en l'obtenció d'híbrids a partir de línies pures. Una altre opció seria enfocar el programa de millora cap a augmentar el rendiment de varietats de ceba que nutricionalment siguin superiors, però que la seva producció de calçots sigui baixa, ja que els avenços en la millora del rendiment en el calçot fent selecció en massa s'han demostrat ràpids i eficients (Simó *et al.*, 2013). Es podria pensar, per exemple, en l'obtenció d'una varietat de calçots de color, ja que es milloraria, per exemple, el valor antioxidant d'aquests. No obstant, no es coneix quina seria l'acceptació d'un producte així per part dels consumidors, que reconeixen com a calçots els de la varietat tradicional de color blanc.

En el cas de voler fer millora genètica per augmentar la qualitat sensorial, no sembla una bona estratègia la introducció de variabilitat amb l'encreuament amb altres varietats, ja que els calçots BTL són els que presenten un perfil més proper a l'idiotip. Val a dir, però, que en aquesta tesi s'han estudiat mitjanes fenotípiques i malgrat la variabilitat detectada dins el tipus varietal BTL ha sigut escassa, caldria veure la variabilitat que existeix entre plantes, per si fos possible la selecció d'aquelles amb un millor perfil sensorial. Per fer això, però, l'anàlisi sensorial mitjançant un panel de tast no és una alternativa viable, ja que requereix d'una quantitat de mostra massa elevada com per avaluar les plantes individualment.

La tecnologia NIR, veient els resultats obtinguts, sembla que és un instrument indispensable per caminar cap a la millora de les característiques sensorials i nutricionals, o simplement per garantir la qualitat ja existent. És cert, que el pretractament de les mostres (coccio i triturat) encara dificulta la seva utilització rutinària, però a nivell de la recerca suposa un clar avenç, ja que permet treballar amb un nombre molt més elevat de mostres, i el que és més important, amb una quantitat de mostra molt més petita en relació als mètodes de referència. En el cas del calçot, això té especial interès, perquè permetria, a l'hora de fer millora, treballar amb mitja planta per realitzar les anàlisis i l'altre mitja es podria deixar per reproduir. No obstant, si es vol utilitzar a nivell de rutina de control en la cadena agroalimentària, caldrien encara més estudis, especialment aquells enfocats a intentar desenvolupar models de predicció a partir de calçots crus sencers, per utilitzar el NIR com a mètode no-destructiu i poder incloure el control de la qualitat sensorial interna i nutricional en els lineals d'embalatge del producte.

Referències

A

Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. New York, United States, John Wiley & Sons.

Andersson M, & Nørgaard L. (2013). A procedure to determine when NIR is better than its reference method. *NIR2013 Proceedings*, 618–620.

B

Barzegar, M., Jabbari, A., Rajabi, A., & Hassandokht, M. R. (2008). Chemical composition of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.) produced in Iran. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 49(2), 121–127.

BEDCA, Base de Datos Española de Composición de Alimentos (2019). Spanish Food Composition Database. Disponible a: <http://www.bedca.net/bdpub/>. Darrer accés: 18/05/2019.

Bernaert, N., de Loose, M., van Bockstaele, E., & van Droogenbroeck, B. (2014). Antioxidant changes during domestic food processing of the white shaft and green leaves of leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1168–1174. doi: 10.1002/jsfa.6389

C

Cayuela, J. A., Puertas, B., & Cantos-Villar, E. (2017). Assessing wine sensory attributes using Vis/NIR. *European Food Research and Technology*, 243(6), 941–953. doi: 10.1007/s00217-016-2807-9

Chen, G. L., Chen, S. G., Zhao, Y. Y., Luo, C. X., Li, J., & Gao, Y. Q. (2014). Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion. *Industrial Crops and Products*, 57, 150–157. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.03.018

D

DAAR (2009). Plec de condicions de la Indicació Geogràfica Protegida Calçot de Valls. Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural, Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries.

G

Gorinstein, S., Drzewiecki, J., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Najman, K., Jastrzebski, Z., Zachwieja, Z., Barton, H., Shtabsky, B., Katrich, E., & Trakhtenberg, S. (2005). Comparison of the bioactive compounds and antioxidant potentials of fresh and cooked Polish, Ukrainian, and Israeli garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2726–2732. doi: 10.1021/jf0404593

J

Jiang, H., & Chen, Q. (2015). Chemometric Models for the Quantitative Descriptive Sensory Properties of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) Using Fourier Transform Near Infrared (FT-NIR) Spectroscopy. *Food Analytical Methods*, 8(4), 954–962. doi: 10.1007/s12161-014-9978-4

K

Kjolstad, L., Isaksson, T., & Rosendeld, H. J. (1990). Prediction of sensory quality by near infrared reflectance analysis of frozen and freeze dried green peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51 (2), 247-260. doi: 10.1002/jsfa.2740510212

L

Lee, J., Ha, I., Kim, H., Choi, S., Lee, S., Kang, J., & Boyhan, G. E. (2016). Regional Differences in Onion Bulb Quality and Nutrient Content, and the Correlation Between Bulb Characteristics and Storage Loss. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 34(6), 807–817. doi: 10.12972/kjhst.20160085

M

Magwaza, L. S., Naidoo, S. I. M., Laurie, S. M., Laing, M. D., & Shimelis, H. (2016). Development of NIRS models for rapid quantification of protein content in sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) LAM.]. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 63–70. doi: 10.1016/j.lwt.2016.04.032

Magwaza, L. S., & Opara, U. L. (2015). Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products-A review. *Scientia Horticulturae*, 184, 179–192. doi: 10.1016/j.scienta.2015.01.001

Mallor, C., Balcells, M., Mallor, F., & Sales, E. (2011). Genetic variation for bulb size, soluble solids content and pungency in the Spanish sweet onion variety Fuentes de Ebro. Response to selection for low pungency. *Plant Breeding*, 130(1), 55–59. doi: 10.1111/j.1439-0523.2009.01737.x

Martens, M.; & Martens, H. (1986). Near-infrared reflectance determination of sensory quality of peas. *Applied Spectroscopy*, 40, 303–310. doi: 10.1366/0003702864509114

N

Ncama, K., Opara, U. L., Tesfay, S. Z., Fawole, O. A., & Magwaza, L. S. (2017). Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi Macfad*). *Journal of Food Engineering*, 193, 86–94. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.08.015

Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I. & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 99-118. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.06.024

P

- Pérez-Gregorio, R. M., García-Falcón, M. S., Simal-Gándara, J., Rodrigues, A. S., & Almeida, D. P. F. (2010). Identification and quantification of flavonoids in traditional cultivars of red and white onions at harvest. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 592–598. doi: 10.1016/j.jfca.2009.08.013
- Petropoulos, S. A., Fernandes, A., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., & Ntatsi, G. (2015). Morphological, nutritional and chemical description of “Vatikiotiko”, an onion local landrace from Greece. *Food Chemistry*, 182, 156–163. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.03.002
- Plans, M., Simó, J., Casañas, F., del Castillo, R. R., Rodriguez-Saona, L. E., & Sabaté, J. (2014). Estimating sensory properties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by near infrared spectroscopy. *Food Research International*, 56(0), 55–62. doi: 10.1016/j.foodres.2013.12.003

R

- Romano, R., Brockhoff, P. B., Hersleth, M., Tomic, O., & Naes, T. (2008). Correcting for different use of the scale and the need for further analysis of individual differences in sensory analysis. *Food Quality and Preference*, 19(2), 197–209. doi: 10.1016/j.foodqual.2007.06.008

S

- Sengul, M., Yildiz, H., & Kavaz, A. (2014). The effect of cooking on total polyphenolic content and antioxidant activity of selected vegetables. *International Journal of Food Properties*, 17(3), 481–490. doi: 10.1080/10942912.2011.619292
- Sharma, K., Assefa, A. D., Kim, S., Ko, E. Y., Lee, E. T., & Park, S. W. (2014). Evaluation of total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of 18 Korean onion cultivars: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(8), 1521–1529. doi: 10.1002/jsfa.6450
- Sharma, K., Ko, E. Y., Assefa, A. D., Ha, S., Nile, S. H., Lee, E. T., & Park, S. W. (2015). Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(2), 243–252. doi: 10.1016/j.jfda.2014.10.005
- Simó, J., Romero del Castillo, R., Almirall, A., & Casañas, F. (2012a). “Roquerola” and “Montferri”, first improved onion (*Allium cepa* L.) cultivars for “calçots” production. *Hortscience*, 47(6), 801–802. doi: 10.21273/HORTSCI.47.6.801
- Simó, J., Romero del Castillo, R., & Casañas, F. (2012b). Tools for breeding ‘calçots’ (*Allium cepa* L.), an expanding crop. *African Journal of Biotechnology*, 11(50), 11065–11073. doi: 10.5897/AJB12.904
- Simó, J., Valero, J., Plans, M., Romero del Castillo, R., & Casañas, F. (2013). Breeding onions (*Allium cepa* L.) for consumption as “calçots” (second-year resprouts). *Scientia Horticulturae*, 152(0), 74–79. doi: 10.1016/j.scienta.2013.01.011

T

- Toledo-Martin, E., Carmen Garcia-Garcia, M., Font, R., Manuel Moreno-Rojas, J., Gomez, P., Salinas-Navarro, M., & Del Rio-Celestino, M. (2016). Application of visible/near-infrared reflectance spectroscopy for predicting internal and external quality in pepper. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9), 3114–3125. doi: 10.1002/jsfa.7488

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.12.038

U

USDA (2019). USDA Food Composition Databases. United States Department of Agriculture. Disponible a: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>. Darrer accés: 15/05/2019.

W

Windham, W. R., Lyon, B. G., Champagne, E. T., Barton, F. E., Webb, B. D., McClung, A. M., Moldenhauer, K. A., Linscombe, S., & McKenzie, K. S. (1997). Prediction of cooked rice texture quality using near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chemistry*, 74 (5), 626-632. doi: 10.1094/CCHEM.1997.74.5.626

Z

Zudaire, L., Viñas, I., Abadias, M., Simo, J., Echeverria, G., Plaza, L., & Aguilo-Aguayo, I. (2017). Quality and bioaccessibility of total phenols and antioxidant activity of calcots (*Allium cepa* L.) stored under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 122–123. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.09.001



CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

- I. Els estudis realitzats en el marc d'aquesta tesi doctoral han permès definir algunes de les propietats nutricionals del calçot. Els resultats obtinguts són similars a la ceba i la variabilitat descrita en ceba també s'ha trobat a nivell de calçot.
- II. La cocció té un fort impacte sobre la composició del calçot, incrementant el contingut d'alguns compostos i disminuint-ne d'altres d'importants a nivell nutricional com els fenols totals i els flavonoides.
- III. Els factors ambientals tenen un efecte important sobre les característiques de qualitat, mentre que a nivell genètic, la variabilitat per aquests caràcters és molt baixa dins el tipus varietal ceba Blanca Tardana de Lleida.
- IV. Sembla que la via més ràpida per millorar el Calçot de Valls seria incidir sobre el maneig del cultiu, però caldrà realitzar estudis més específics per establir les condicions òptimes pel cultiu.
- V. S'ha pogut comprovar que la millora del rendiment no ha fet variar la qualitat sensorial i nutricional del calçot.
- VI. L'espectroscòpia NIR ha mostrat ser una alternativa viable en l'avaluació de la qualitat del calçot, que facilita la gestió d'un nombre elevat de mostres, en casos com el control de qualitat o en programes de millora.
- VII. Els valors obtinguts de RPD mostren que a partir dels espectres del puré de calçot cuit es pot estimar el contingut en matèria seca i els sòlids solubles amb una predicció excel·lent (RPD de 4.57 i 8.07 respectivament), mentre que per a l'obtenció de models amb una bona predicció de l'acidesa titulable i el contingut en matèria mineral, els millors resultats s'han obtingut a partir dels registres de farina (RDP de 2.59 i 1.99 respectivament). El fet de que les mostres de calibratge i validació fossin de temporades diferents dóna robustesa als models desenvolupats.
- VIII. Pel que fa a la predicció dels atributs sensorials, els millors resultats s'han obtingut a partir dels registres del puré i realitzant selecció de variables. Per als tres atributs sensorials (dolçor, percepció de la fibra i gustos estranys), els RPD han estat superiors a 1.4.
- IX. Malgrat que els models desenvolupats per a la predicció d'atributs sensorials disten dels obtinguts per als caràcters químics, l'espectroscòpia NIR s'ha demostrat útil com a eina complementària al panel de tast, especialment en una primera avaluació per descartar aquelles mostres que més s'allunyen de l'idiotip.



ABBREVIATURES

ABREVIATURES

BTL – Blanca Tardana de Lleida

DOP – Denominació d’Origen Protegida

ETG – Especialitat Tradicional Garantida

FIR– *Far InfraRed*

FMA – Fundació Miquel Agustí

IGP – Indicació Geogràfica Protegida

IRTA – Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària

MCFH – Mercat Central de Fruites i Hortalisses

MIR – *Mid InfraRed*

NIR – *Near InfraRed*

PLS – *Partial Least Squares*

QTL – *Quantitative Trait Loci*

R² – Coeficient de Determinació

RAP – *Relative Ability of Prediction*

RMSEP – *Root Mean Square Error of Prediction*

RPD – *Ratio of Performance to Deviation*

SSC – *Soluble Solid Content*

TA – *Titrateable Acidity*



TAULES I FIGURES

TAULES I FIGURES

Llistat de taules

Resultats - Capítol 1

Table 1. Soil properties at the six locations in the two seasons.

Table 2. Climatic data (°C) of the six locations in the two experimental seasons.

Table 3. Means and standard deviations of chemical attributes between varieties, locations, seasons, planting dates, and harvesting times.

Table 4. Means and standard deviations of sensory attributes between varieties, locations, and harvesting times.

Table 5. Correlations between chemical and sensory traits.

Resultats - Capítol 2

Table 1. The significance of the factors variety (BTL, Sabadell, Figueres, and Babosa), state (raw and cooked), and their interaction in the ANOVA (Experiment A).

Table 2. Mean values for the variety and state effects in the nutritional traits of 'calçots' (Experiment A).

Table 3. Mean values of the different parameters in the different locations and states in the BTL 'calçots'.

Resultats - Capítol 3

Table 1. Chemical composition of the samples in the calibration (season 2014–15) and validation (season 2015–16) sets.

Table 2. Statistical descriptors for NIRS determinations.

Table 3. Comparison of statistics for predictions of dry matter and soluble solid content by NIRS in onions reported in the literature.

Resultats - Capítol 4

Table 1. Statistics (range, mean, and standard deviation) for the sensory attributes measured by the trained panel in the calibration and validation sets.

Table 2. Statistical descriptors for NIRS determinations using all the spectra.

Table 3. Statistical descriptors for NIRS determinations using iPLS variable selection.

Llistat de figures

Introducció

Figura 1. Propietats de la qualitat dels productes agrícoles en funció de la perspectiva dels diferents agents de la cadena agroalimentària.

Figura 2. Mètodes de registre en l'espectroscòpia NIR. (A) reflectància, (B) transflectància, (C) transmitància, (D) interactància.

Figura 3. Procés de calibratge i validació d'un model de predicció NIR.

Figura 4. Productes transformats derivats del calçot.

Figura 5. Diagrama del cicle de cultiu del calçot.

Figura 6. Evolució de les vendes i el preu mig per temporada dels calçots comercialitzats pel MCFH (MERCABARNA, 2019).

Figura 7. Esquema del programa de millora utilitzat per obtenir les noves varietats de calçot: Roquerola i Montferri (Simó i Sans, 2015).

Resultats - Capítol 1

Figure 1. Map of the experimental field locations.

Figure 2. Biplot of the *location x season* in the plane determined by the first two axes of the PCA considering the soil characteristics and climatic conditions.

Figure 3. Percentage of variance due to the factors considered in the ANOVA ($n = 576$) and their interactions in the chemical parameters studied.

Figure 4. Biplot of *location x season* in the plane determined by the first two axes of the principal component analysis considering the environmental data and chemical traits.

Figure 5. Percentage of variance due to the factors considered in the ANOVA ($n = 96$) and their interactions in the sensory attributes studied.

Resultats - Capítol 2

Figure 1. Biplot of the four varieties in the plane determined by the first two axes of the PCA considering all the nutritional parameters studied in the raw(a) and cooked (b) 'calçots' (Experiment A).

Figure 2. Total phenolic content after in vitro simulated gastrointestinal digestion (Experiment A).

Figure 3. Antioxidant activity (FRAP) after in vitro simulated gastrointestinal digestion (Experiment A).

Figure 4. Antioxidant activity (DPPH) after in vitro simulated gastrointestinal digestion (Experiment A).

Figure 5. Results of sensory analysis (Experiment A).

Resultats - Capítol 3

Figure 1. (A) Raw spectra from puree; (B) pre-processed spectra from puree (SNV+SG 2nd deg. Plym.; window width=11; 1st deriv.) used for soluble solid content determination; (C) raw spectra from ground dried puree; (D) pre-processed spectra from ground dried puree (SNV+SG 2nd deg. Plym.; window width=15; 2nd deriv.) used for titratable acidity determination.

Figure 2. Comparisons between measured laboratory analyses and NIRS predicted values of the prediction set (season 2015–16), for dry matter (DM) (A), soluble sòlid content (SSC) (B), titratable acidity (TA) (C), and ash content (D).

Resultats - Capítol 4

Figure 1. (A) Raw spectra from puree and ground dried puree; (B) pretreated spectra (SNV) from puree and ground dried puree.

Figure 2. The optimal combination (low RMSECV) of spectral intervals determined by iPLS variable selection (dark grey) for puree (left side) and ground dried puree (right side).

Figure 3. NIRS-predicted versus panel score of sweetness, fiber perception, and off-flavors, using iPLS regression models for puree (left side) and ground dried puree (right side). Black symbols: validation samples, white symbols: calibration samples.

Discussió general

Figura 1. Varietats de ceba de les que es va estudiar la composició nutricional. De dreta a esquerra: Blanca Tardana de Lleida, Sabadell, Babosa i Figueres.

