



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona



CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE *BRASSICAS* DE ALTO VALOR AÑADIDO

TRABAJO FINAL DE GRADO

INGENIERÍA ALIMENTARIA

Autora: Gianna Leonor Molina Coppiano

Tutor: Joan Simó Cruanyes

Tutora externa: Aurora Rull Ferré

10 Enero, 2019

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, especialmente a mis padres y mi hermana por el apoyo incondicional y los ánimos en los momentos más difíciles.

Seguidamente, agradecer a los miembros de la Fundació Miquel Agustí la ayuda que me han brindado. Me gustaría darle las gracias en especial a mi supervisora Aurora Rull por toda la paciencia, conocimientos y ayuda que me ha ofrecido mientras se efectuaba este proyecto. También quiero agradecer a mi tutor Joan Simó por hablarme del proyecto BRAAVA y permitirme participar en él.

A mis amigos Miquel Rallo, Miriam Castro, Thomas Collet y Raquel Romero por animarme siempre, a Constanza Guñazú y Mónica Montaña Flores por acompañarme en las largas tardes de laboratorio y, por último, pero no menos importante, quiero hacer especial mención a Sara Estévez, persona a la que le debo parte de este trabajo por haber estado en el campo Agrópolis cuando yo no pude.

Resum

Brassica oleracea L. és una espècie amb nombroses varietats botàniques, amb diferents característiques entre elles. El present treball queda emmarcat en el Projecte BRAAVA de la Fundació Miquel Agustí que pretén la introducció de noves varietats de *Brassica* amb alt valor afegit a la zona del Parc Agrari del Baix Llobregat. La importància d'aquestes varietats es basa en el seu potencial gastronòmic i nutricional.

L'objectiu principal d'aquest treball és caracteritzar química i nutricional de 61 genotips de *Brassica* de diferents procedències i tipus varietal, en un mateix camp experimental a Agròpolis, Viladecans. La caracterització ha consistit en la determinació dels paràmetres químics: el contingut d'aigua i matèria seca, el percentatge de matèria mineral, pH, acidesa titulable i contingut de sòlids solubles, dels materials assajats. Un altre dels objectius és realitzar una revisió bibliogràfica dels valors dels paràmetres d'estudi en treballs previs.

Amb les dades de la caracterització química s'ha realitzat diverses anàlisis estadístiques com ANOVA, LSD (Anàlisi de la mínima diferència significativa), PCA (Anàlisi de Components Principals).

Els resultats obtinguts han permès confirmar la variació entre tipus varietal i entre el genotip dins del tipus varietal, ja que al realitzar el test ANOVA, totes les variables presentades han estat significatives. Si especifiquem per tipus varietal, els paràmetres químics han estat significatius exceptuant per al tipus varietal –Bimi- i el tipus varietal –Romanesco- en sengles casos l'única variable significativa ha estat el pH.

L'Anàlisi de Components Principals (PCA), en els paràmetres químics la quantitat d'aigua de la mostra no altera el pH, i viceversa, perquè no estan correlacionats. No ocorre el mateix amb l'aigua i els °Brix, cendres i matèria seca, com més elevada és la quantitat d'aigua de la varietat, menys quantitat de sòlids solubles (°Brix), cendres i matèria seca trobarem, perquè són valors correlacionats negativament. En l'Anàlisi de Components Principals per als paràmetres de color, hi ha hagut un genotip que presentava una major lluminositat (L*).

Finalment, s'han escollit 30 genotips per passar a la següent fase (tercer any) del Projecte BRAAVA en base als resultats dels paràmetres: contingut de cendres i sòlids solubles totals. Els genotips del tipus varietal kales i kalettes® són superiors a la resta, doncs són cultius de producció elevada, a més de ser els genotips que tenen una major quantitat dels paràmetres d'interès prèviament esmentats.

Paraules clau: *Brassica oleracea* L, Projecte BRAAVA, caracterització nutricional, paràmetres químics

Resumen

Brassica oleracea L. es una especie con numerosas variedades botánicas, con diferentes características entre ellas. El presente trabajo queda enmarcado en el Proyecto BRAAVA de la Fundació Miquel Agustí que persigue la introducción de nuevas variedades de *Brassica* con alto valor añadido en la zona del Parc Agrari del Baix Llobregat. La importancia de estas variedades se basa en su potencial gastronómico y nutricional.

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar química y nutricionalmente 61 genotipos de *Brassica* de diferentes procedencias y tipo varietal, en un mismo campo experimental a Agròpolis, Viladecans. La caracterización ha consistido en la determinación de los parámetros químicos: el contenido de agua y materia seca, el porcentaje de materia mineral, pH, acidez titulable y contenido de sólidos solubles, de los materiales ensayados. Otro de los objetivos es realizar una revisión bibliográfica de los valores de los parámetros de estudio en trabajos previos.

Con los datos de la caracterización química se ha realizado varios análisis estadísticos como ANOVA, LSD (Análisis de la mínima diferencia significativa), PCA (Análisis de Componentes Principales).

Los resultados obtenidos han permitido confirmar la variación entre tipo varietal y entre el genotipo dentro del tipo varietal, pues realizando el test ANOVA, todas las variables presentadas han sido significativas. Si especificamos por tipo varietal, los parámetros químicos han sido significativos exceptuando para el tipo varietal –Bimi- y el tipo varietal –Romanesco- en sendos casos la única variable significativa ha sido el pH.

El Análisis de Componentes Principales (PCA), en los parámetros químicos la cantidad de agua de la muestra no altera el pH, y viceversa, porque no están correlacionados. No ocurre lo mismo con el agua y los °Brix, cenizas y materia seca, cuanto más elevada es la cantidad de agua de la variedad, menos cantidad de sólidos solubles (°Brix), cenizas y materia seca hallaremos, porque son valores correlacionados negativamente. En el Análisis de Componentes Principales para los parámetros de color, ha habido un genotipo que presentaba una mayor luminosidad (L*).

Finalmente, se han escogido 30 genotipos para pasar a la siguiente fase (tercer año) del Proyecto BRAAVA en base a los resultados de los siguientes parámetros: porcentaje de materia mineral y sólidos solubles totales. Los genotipos del tipo varietal kales y kalettes® son superiores al resto, pues son cultivos de producción elevada, además de ser los genotipos que tienen una mayor cantidad de los parámetros de interés previamente mencionados.

Palabras clave: *Brassica oleracea* L, proyecto BRAAVA, caracterización nutricional, parámetros químicos

Abstract

Brassica oleracea L. is a species with numerous botanical varieties, with different characteristics among them. This work is framed in the BRAAVA Project of the Fundació Miquel Agustí that seeks the introduction of new varieties of *Brassica* with high added value in the Parc Agrari area of Baix Llobregat. The importance of these varieties is based on their gastronomic and nutritional potential.

The main objective of this work is to chemically and nutritionally characterize 61 genotypes of different provenances and varietal type, in the same experimental field at Agropolis, Viladecans. The characterization consisted in the determination of the chemical parameters: water content and dry matter, the percentage of mineral matter, pH, titratable acidity and content of soluble solids, of the tested materials. Another objective is to carry out a bibliographic review of the values of said parameters in previous works.

With the data of the chemical characterization, several statistical analyzes have been carried out, such as ANOVA, LSD (Less Significant Difference), PCA (Principal Component Analysis).

The results obtained have confirmed the variation between varietal type and between genotype in the varietal type, since when performing the ANOVA test, all the presented variables have been significant. If we specify by varietal type, the chemical parameters have been significant except for the varietal type -Bimi- and the varietal type -Romanesco- in those cases the only significant variable has been pH.

The Analysis of Principal Components (PCA), in the chemical parameters the amount of water in the sample does not alter the pH, and vice versa, because they are not correlated. The same does not occur with water and °Brix, ash and dry matter, the higher the quantity of water in the variety, the less amount of soluble solids (°Brix), ash and dry matter we will find, because these values are negatively correlated. In the Principal Component Analysis for the color parameters, there was a genotype that had a higher luminosity (L *).

Finally, 30 genotypes have been chosen to pass to the next phase (third year) on the BRAAVA Project based on the results of the following parameters: percentage of mineral matter (ash) and total soluble solids. The genotypes of the varietal type kales and kalettes® are superior to the others, as well as to the improved production means, also those genotypes have a greater quantity of the previously selected parameters of interest.

Keywords: *Brassica oleracea* L, BRAAVA project, nutritional characterization, chemical parameters

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Generalidades	10
1.2 <i>Brassica oleracea</i> . L	10
1.3 Clasificación taxonómica.....	13
1.4 Origen y domesticación	13
1.5 Descripción de las variedades de estudio	14
1.6 Composición nutricional	18
1.7 Mejora de la calidad	19
1.8 Antecedentes: Proyecto BRAAVA.....	20
2. OBJETIVOS	21
3. MATERIAL Y MÉTODOS	22
3.1 Material vegetal	22
3.2 Diseño experimental.....	24
3.3 Fenotipado de la composición química	26
3.4 Análisis estadístico.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1 Fenotipado de la composición química	28
4.1.1 Análisis de la varianza	28
4.1.1.1 Parámetros químicos	28
4.1.1.2 Parámetros de color.....	28
4.1.2 Comparación de medias.....	28
4.2.1 Parámetros químicos según el tipo varietal.....	28
4.1.3 Análisis de componentes principales (PCA)	30
4.1.3.1 Parámetros químicos	30
4.1.3.2 Parámetros del color	31
4.1.3.3 Combinación parámetros químicos y parámetros de color	33
4.2 Fenotipado de la composición químicas por tipo varietal	35
4.2.1 Brócoli	35
4.2.2 Brócoli ramificado.....	37
4.2.3 Tipo BIMÍ®	38
4.2.4 Coliflor	38
4.2.5 Romanesco.....	39
4.2.6 Col	40
4.2.7 Kale.....	41

Caracterización nutricional básica de Brassicas de alto valor añadido

4.2.8	Kalette®	42
4.2.9	Col de Bruselas.....	42
4.3	Genotipos candidatos para pasar a la siguiente fase del Proyecto BRAAVA.....	44
5.	CONCLUSIONES.....	45
6.	BIBLIOGRAFÍA	46
	ANEJOS	49
A.	Preparación de las muestras.....	49
	Material utilizado.....	49
	Procedimiento.....	49
B.	Análisis químico	50
B. 1	Determinación de materia seca y contenido de agua	50
B. 2	Determinación de materia mineral o cenizas	51
B. 3	Determinación pH	52
B. 4	Determinación de la acidez titulable	53
B. 5	Determinación sólidos solubles	55
B.6	Determinación de color	56

Índice de figuras

Figura 1 Diferentes variedades de <i>Brassica oleracea</i>	10
Figura 2. Triángulo de U mostrando las relaciones entre las diferentes especies cultivadas de <i>Brassica</i> (U, 1935)	11
Figura 3. Polinización de abejas en flores de <i>Brassica oleracea</i> L. Fuente: Fundació Miquel Agustí	12
Figura 4. Diversos cultivares como consecuencia del aprovechamiento de distintas zonas de plantas de <i>Brassica oleracea</i> . Fuente: Pinterest.....	12
Figura 5. Diferentes ángulos de distintos tipos de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> L. spp <i>italica</i>). En la fila superior Brócoli Miranda, en la fila inferior, Brócoli ZEN. Fuente: Fundació Miquel Agustí. 14	
Figura 6. Vista superior de las pellas de brócoli ramificado, a la izquierda. Brotes laterales de brócoli ramificado, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí	14
Figura 7. Florete de BIMÍ [®] , a la izquierda. Partes comestibles de BIMÍ [®] , a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.....	15
Figura 8. Diferentes colores en las pellas de coliflor (<i>Brassica oleracea</i> var <i>botrytis</i>) en función de su variedad, a la izquierda y central. Corte longitudinal de coliflor, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.....	16
Figura 9. Pella helicoidal-piramidal del romanesco (<i>Brassica oleracea</i> var <i>botrytis</i>). Fuente: Fundació Miquel Agustí.....	16
Figura 10. Vista de perfil de la col de Paperina (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>), a la izquierda. Corte longitudinal, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.....	17
Figura 11. Brotes secundarios de una hoja de kale, a la izquierda. Diferentes etapas de desarrollo de las hojas, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.....	17
Figura 12. Tallo longitudinal de cogollo de la variedad Snowdrop, a la izquierda. Cogollos de kalette [®] Fuente: Fundació Miquel Agustí.	18
Figura 13. Disposición de los cogollos en una planta de <i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i> , a la izquierda. Cogollos de coles de Bruselas, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.	18
Figura 14 Localización del campo experimental Agrópolis, Viladecans.....	25
Figura 15. Cultivo de Brassica protegido con acolchado de plástico negro. Fuente: propia.....	25
Figura 16. Círculo de correlaciones de los parámetros químicos determinados.	30
Figura 17. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA.	31
Figura 18. Círculo de correlaciones de los 3 parámetros de colores, Luminosidad (L*), coordenada cromática verde/rojo (a*) y coordenada cromática azul/amarillo (b*)	32
Figura 19. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA. Luminosidad (L*), coordenada cromática verde/rojo (a*) y coordenada cromática azul/amarillo (b*)	33
Figura 20. Círculo de correlaciones de los 3 parámetros de colores y químicos. Materia Seca (MS), Acidez titulable (AT), Luminosidad (L*), coordenada cromática verde/rojo (a*) y coordenada cromática azul/amarillo (b*)	34
Figura 21. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA de la combinación de parámetros de color y los parámetros químicos.	35

Índice de tablas

Tabla 1. Diferentes cultivos de la especie <i>Brassica oleracea</i> L. (Ordás y Cartea, 2008)	12
Tabla 2 Clasificación taxonómica <i>Brassica oleracea</i> L. (Ordás y Cartea, 2008)	13
Tabla 3. Composición nutricional en cada 100 g de las porciones comestibles de diferentes variedades de <i>Brassica oleracea</i> L. (Cartea et al., 2011).....	19
Tabla 4. Variedades de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>italica</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.	22
Tabla 5. Variedades de brócoli ramificado (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>italica</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.....	22
Tabla 6. Variedades de coliflor y coliflor morada (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i>). Código de identificación, nombre común, categoría y origen de la semilla.....	23
Tabla 7. Variedades de kale (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>sabellica</i>). Código de identificación, nombre común, categoría y origen de la semilla.	23
Tabla 8. Variedades de col de paperina (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.....	23
Tabla 9. Variedades de kalette® (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i> x <i>gemmifera</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.....	24
Tabla 10. Variedades de col de Bruselas (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>gemmifera</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.....	24
Tabla 11. Variedades de BIMÍ® (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>alboglabra</i> x <i>italica</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.....	24
Tabla 12. Variedades de Romanesco (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.	24
Tabla 13. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal y la interacción entre tipo varietal y el genotipo, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	28
Tabla 14. Significación del test ANOVA de los parámetros del color medidos en os materiales de estudio según el genotipo. Las letras L*, a* y b* corresponden a luminosidad, y a las coordenadas cromáticas respectivamente.	28
Tabla 15. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el factor tipo varietal.....	29
Tabla 16. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Brócoli-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	35
Tabla 17. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Brócoli-.	36
Tabla 18. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Brócoli Ramificado-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.....	37
Tabla 19. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Brócoli Ramificado-.	37
Tabla 20. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –BIMI-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	38

Tabla 21. Prueba T-Student de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Bimi-.....	38
Tabla 22. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Coliflor-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	38
Tabla 23. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Coliflor-.....	39
Tabla 24. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Romanesco-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	39
Tabla 25. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Col-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	40
Tabla 26. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Col-.....	40
Tabla 27. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Kale-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	41
Tabla 28. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Kale-.....	41
Tabla 29. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Kalette®-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	42
Tabla 30. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Kalette®-.....	42
Tabla 31. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Col Bruselas-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.	42
Tabla 32. Prueba T-Student de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Col Bruselas-.....	43
Tabla 33. Genotipos candidatos para la fase 3 del Proyecto BRAAVA.....	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En el presente, la demanda de productos de mayor calidad funcional, nutricional y sensorial ha aumentado, se quiere que los alimentos realicen las funciones nutricionales básicas, asimismo el consumidor pide alimentos donde su ingesta pueda aportar beneficios para la salud e incluso prevenir enfermedades (Fernández-León et al., 2012). De los alimentos consumidos en la actualidad, las hortalizas cuentan con una gran diversidad, es decir, constituyen una importante fuente de sustancias con alto potencial biológico (Bachiega et al., 2016).

El Código Alimentario Español (CAE., 2012) designa con la denominación genérica de <<Hortaliza>> a cualquier planta herbácea hortícola en sazón que se puede utilizar como alimento, ya sea en crudo o cocinada. Igualmente, define <<Verdura>> como a un grupo de hortalizas en las que la parte comestible está constituida por sus órganos verdes (hojas, tallos o inflorescencias). Las hortalizas se caracterizan por ser productos ricos en agua, pobres en carbohidratos, proteínas y lípidos, lo que implica que tengan escaso aporte energético (Belitz et al., 2009). Por otra parte, son interesantes por su contenido en micronutrientes como vitaminas y minerales (Moreno et al., 2006).

Del grupo de vegetales más demandados actualmente destacan los pertenecientes a la familia *Brassicaceae* por su gran contenido en compuestos funcionales como carotenoides, clorofilas, compuestos fenólicos, glucosinolatos y vitamina C (Moreno et al., 2006).



Figura 1. Diferentes variedades de *Brassica oleracea*.

1.2 *Brassica oleracea*. L

La especie *Brassica oleracea* pertenece a la familia *Brassicaceae*, previamente conocida como *Cruciferae*. Esta familia de plantas incluye más de 350 géneros y 3500 especies que se caracterizan por ciclos cortos y una amplia adaptabilidad, debido a esto, *Brassicaceae* puede ser cultivada en diferentes temporadas y entornos (Heimler et al., 2006).

Dentro de las *Brassicaceae*, se encuentra el género *Brassica* integrado por 37 especies, de las cuales 6 de ellas son de gran importancia agrícola, 3 diploides¹: *Brassica nigra*, *Brassica oleracea*,

¹ Diploide: célula, organismo o tejido que cuenta con 2 juegos de cromosomas.

y *Brassica rapa* y 3 especies anfidiplóides²: *Brassica carinata*, *Brassica juncea*, *Brassica napus* (Cartea et al., 2011). A partir de esta información, el científico coreano U presentó el Triángulo de U (Figura 2) (Cheng et al. 2015).

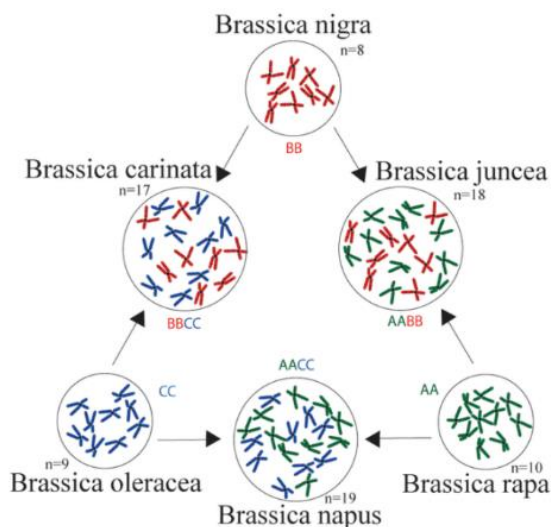


Figura 2. Triángulo de U mostrando las relaciones entre las diferentes especies cultivadas de *Brassica* (U, 1935)

En las especies *Brassica oleracea* L la mayoría de variedades son plantas bienales, y las flores se desarrollan durante el segundo año. Tiene raíz axonomorfa con base semileñosa, cubierta de cicatrices foliares y tallo ramificado de 90 a 300 cm. Cuenta con dos tipos de hojas: inferiores y superiores: las hojas inferiores pueden tener hasta 40 cm, de manera ordinaria pecioladas, carnosas y glaucas, con nervios prominentes, cubiertas de ceras cuticulares. Por otra parte, las hojas superiores son sésiles, pecioladas en algunos cultivos, enteras, ovado-lanceoladas u oblongo-lanceoladas.

Las inflorescencias constan de 15-40 flores. La estructura floral consta de cuatro sépalos, cuatro pétalos, dos estambres cortos y cuatro de largos y un gineceo formado por dos carpelos y un ovario superior. Los 4 pétalos de las flores pueden ser amarillos o blancos, y se disponen en forma de cruz, miden de 15 a 20 mm (Dixon, 2007). Los pedicelos florales miden de 10 a 20 mm en la antesis y 15-23 mm en la fructificación; los sépalos florales erectos son de 10 a 12 mm. La polinización de las flores es, mayoritariamente, entomófila (Figura 3) (Gladis y Hammer, 2001).

El fruto es una cápsula (silicua) dividida en dos lóculos por un septum. Las semillas tienen de 1,5 a 2,3 mm de diámetro y son esféricas (Castroviejo et. al., 1996) (Ordás et. al., 2008).

² Anfidiplóide: poliploide formado por la unión de dos complementos cromosómicos distintos y posteriormente duplicados.



Figura 3. Polinización de abejas en flores de *Brassica oleracea* L. Fuente: Fundació Miquel Agustí

Brassica oleracea L. es una especie versátil que gracias al hombre ha generado varios cultivares hortícolas diferenciados entre sí (**Tabla 1**), cada uno enfocado al aprovechamiento de un órgano de la planta, ya sea hojas a lo largo del tallo, en el caso de las kales u hojas que rodean el botón terminal para el repollo. Para las coles de Bruselas, la selección se ha dado agrandando el axilar de los brotes y en el brócoli y coliflor, las inflorescencias (**Figura 4**) (Ordás y Cartea, 2008) (Milla, 1997) (Spooner et al., 2003).

Tabla 1. Diferentes cultivos de la especie *Brassica oleracea* L. (Ordás y Cartea, 2008)

Cultivo	Nombre común
<i>Acephala</i>	Berza
<i>Alboglabra</i>	Kal-i-lan
<i>Botrytis</i>	Coliflor
<i>Capitata</i>	Col o repollo
<i>Costata</i>	Col portuguesa
<i>Gemmifera</i>	Coles de Bruselas
<i>Gongylodes</i>	Kohlrab
<i>Italica</i>	Brócoli
<i>Medullosa</i>	Col de meollo
<i>Ramosa</i>	Col de mil cabezas
<i>Sabauda</i>	Col de Milán

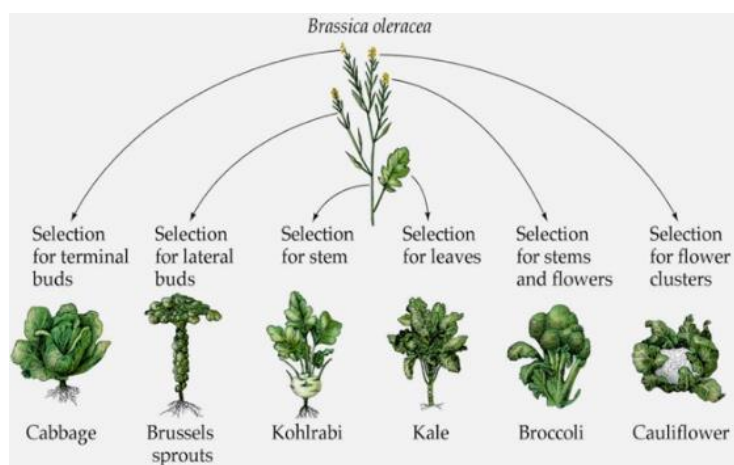


Figura 4. Diversos cultivares como consecuencia del aprovechamiento de distintas zonas de plantas de *Brassica oleracea*. Fuente: Pinterest.

Los cultivos presentados anteriormente se clasifican como variedades o covariedades, pero bajo modernos términos cultonómicos serían grupos-cultivares (Spooner et al., 2003).

1.3 Clasificación taxonómica

Brassica oleracea L. se clasifica taxonómicamente según las normas establecidas por el Congreso Internacional de Botánica (Bold et al., 1989), que se recoge en la siguiente tabla (Tabla 2):

Tabla 2 Clasificación taxonómica *Brassica oleracea* L. (Ordás y Cartea, 2008)

Reino: <i>Plantae</i>
Subreino: <i>Tracheobionta</i>
Superdivisión: <i>Spermatophyta</i>
División: <i>Magnoliophyta</i>
Clase: <i>Magnoliopsida</i>
Subclase: <i>Capparales</i>
Orden: <i>Brassicales</i>
Familia: <i>Brassicaceae</i>
Género: <i>Brassica</i>
Especie: <i>B. oleracea</i> L.

1.4 Origen y domesticación

Para tratar el tema sobre el origen de cualquier cultivo es esencial considerar dos aspectos claves: primeramente, el origen del taxón antes de la domesticación como el resultado del proceso evolutivo en el medio silvestre y, en segundo lugar, su origen en el cultivo, es decir, la historia de la domesticación, posterior uso y diversificación.

En términos del origen, Ordás y Cartea (2008) sugieren que las especies del género *Brassica* poseían un ancestro común, resultado de intensos procesos de hibridación entre diferentes especies silvestres de Europa. Esta hipótesis también se ve apoyada por diferentes estudios basados en los marcadores moleculares usando polimorfismos de longitud de los fragmentos de restricción (RFLP) del ADN nuclear, que indican un origen monofilético de las diferentes variedades cultivadas de *Brassica* (Song et al., 1990).

Igual que el origen de las especies de *Brassica* se rige por hipótesis, la domesticación tampoco es conocida en su totalidad. Casals et. al (2012) proponen que la domesticación comenzó hace 2.500 años en la zona atlántica del oeste de Europa, zona donde está distribuida la *B. oleracea* silvestre. En esta misma línea, otros autores consideran que las formas cultivadas primitivas de *B. oleracea* fueron traídas desde la costa atlántica hasta el Mediterráneo donde ocurrió la selección para muchos de los primeros tipos de cultivos (Ordás y Cartea, 2008).

La variabilidad de los cultivos de *Brassica oleracea* puede haber sido por la generación espontánea por mutaciones y por la selección de mano de los agricultores. Las primeras formas domesticadas habrían sido seleccionadas para aprovechar las diferentes partes comestibles de la planta superdesarrollada (Casals et al., 2012).

1.5 Descripción de las variedades de estudio

De todas las variedades de *Brassica oleracea* existentes, en este trabajo se centrará en aquellas que se usaron para hacer la caracterización nutricional que se muestra más adelante.

Brócoli

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una planta muy conocida y una excelente fuente de antioxidantes, vitamina C, fibra, además contiene altos niveles de calcio, hierro, potasio y vitaminas del grupo A y E (Zhang y Hamazu, 2004). Esta planta existe en muchas formas, algunas con cabezas grandes y compactas, algunas con brotes o cabezas de flores relativamente pequeñas, y en una variedad de colores que van desde el color púrpura oscuro, verde hasta el amarillo verdoso (**Figura 5**). Presenta pedúnculos florales menos compactos, formando un ramillete o pella. Las hojas del brócoli son onduladas y erguidas, tienen el peciolo alargado, el limbo foliar lobulado de un tono grisáceo, con nervios blancos y marcados. Posee una raíz pivotante de hasta 1.20 m. La pella del brócoli puede tener un diámetro de hasta 20 centímetros y pesar 2 kg, aunque 15 centímetros de diámetro es considerado la longitud ideal para ser cosechado (Ordiales et al., 2017).



Figura 5. Diferentes ángulos de distintos tipos de brócoli (*Brassica oleracea* L. spp *italica*). En la fila superior Brócoli Miranda, en la fila inferior, Brócoli ZEN. Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Si el brócoli presenta inflorescencias hipertrofiadas con los botones florales diferenciados, se le denomina “**Brócoli Ramificado**”. La palabra ramificado se usa para designar aquellos genotipos que presenta una pella menos compacta con brotes laterales reducidos (**Figura 6**).



Figura 6. Vista superior de las pellas de brócoli ramificado, a la izquierda. Brotes laterales de brócoli ramificado, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí

Tipo BIMI®

El nuevo brócoli Bimi® es un híbrido natural entre ka-i-lan también denominado col china (*Brassica oleracea* var *alboglabra*) y brócoli (*B. oleracea italica*). Esta nueva variedad es un vegetal verde similar al brócoli, pero tiene unos tallos tiernos, largos y delgados (similar a los espárragos) y un pequeño florete. Es más dulce que el brócoli y los delicados tallos no necesitan ser pelados (Yang y Zhang, 2012). Su sabor suave (en comparación con los cultivares convencionales) hace que este vegetal sea ideal para consumir recién cortado, además de sus beneficios nutricionales. Sin embargo, Bimi® es muy perecedero, después de la cosecha cambia a un color amarillento, pierde turgencia y presenta olores desagradables que afectan a los principales parámetros de calidad sensorial (Martínez-Hernández et al., 2013).

BIMI® fue desarrollado por la compañía Sakata Seed en Yokohama (Japón) en 1993. Diversas compañías han desarrollado diferentes variedades del híbrido, registrándolo con diferentes nombres como Asparation (Sakata Seed America), Bellaverde (Semini Vegetables Seed), Broccolini (Mann Packaging Company), Tenderstem (Mark and Spencer Plc.) (Washington State University (WSU) <http://agsyst.wsu.edu/Broccolini.html>).

El cultivo se suele llevar a cabo entre octubre y junio en zonas cálidas como España e Italia, mientras que en las regiones frías de Europa se suele efectuar en verano. Se puede consumir tanto crudo como cocinado (Martínez-Hernández et al., 2013).



Figura 7. Florete de BIMI®, a la izquierda. Partes comestibles de BIMI®, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Coliflor

Brassica oleracea var. *botrytis* es el nombre usado para designar a la coliflor. Las hojas son enteras o algo hendidas, elípticas u oblongas que a veces se rizan en los bordes y están recubiertas de una cera natural. El tallo pequeño de 20 a 30 cm es coronado por yemas preflorales voluminosas, hipertrofiadas muy compactas, generalmente de color blanco, aunque según a variedad puede llegar a ser morada o incluso de tonos amarillos. La coliflor necesita la acción de las bajas temperaturas para poder llegar a florecer (**Figura 8**) (Hessayon, 2002).



Figura 8. Diferentes colores en las pellas de coliflor (*Brassica oleracea* var *botrytis*) en función de su variedad, a la izquierda y central. Corte longitudinal de coliflor, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí

Romanesco

El romanesco es una verdura que pertenece al género *Brassica* y es característica de los meses de invierno. Es una de las muchas variedades de coliflor y destaca por su color verde característico y la forma tan peculiar de sus brotes (Valette et al., 2003). Este cultivo posee hojas y sistema de crecimiento similar a la coliflor. Las yemas pleflorales (pellas) del romanesco son de color verde-amarillento y de una característica forma helicoidal-piramidal (**Figura 9**) (Soria y Maroto, 2014).



Figura 9. Pella helicoidal-piramidal del romanesco (*Brassica oleracea* var *botrytis*). Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Col de Paperina

El repollo o col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) es una hortaliza de tamaño considerable de abundantes raíces fibrosas que llegan a profundidades de 1.5 m. En lo referente a las hojas, pueden ser sésiles o con pecíolo siendo de más anchura que de longitud, 60 cm de diámetro y 35 cm de longitud respectivamente (Valadez, 2001).

Sobrino (1994), explica que el tallo está rodeado de hojas enteras de tonos amarillos (**Figura 10**), verdes o morado, de forma ovaladas y con un nervio central especialmente grueso que se apilan estrechamente formando una cabeza.

La col de Paperina debe el nombre a su forma, ofrece un gusto suave y dulce. Originaria del Vallès Occidental.



Figura 10. Vista de perfil de la col de Paperina (*Brassica oleracea* var. *capitata*), a la izquierda. Corte longitudinal, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Kale

La kale o col rizada forma parte de la variedad botánica *sabellica*. Su principal característica es que no tiene cabeza al final del tallo erecto que posee un gran número de hojas. La altura de esta planta oscila entre los 30 y 40 cm. En función de la variedad, las hojas rizadas pueden ser de distintos colores que van desde el morado hasta el verde (Cartea et al., 2011). En la **Figura 11** se puede ver la variedad de kale Black Magic TZ 9096.



Figura 11. Brotes secundarios de una hoja de kale, a la izquierda. Diferentes etapas de desarrollo de las hojas, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Kalette®

El kalette® es un híbrido entre la kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) y las coles de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) dando como resultado una planta similar a la col de Bruselas, pero los pequeños cogollos acaban abriéndose dando unas coles verdes pequeñas de hojas verdes y nervios púrpura. Se puede consumirse en crudo o cocinado. Este cultivar híbrido ha surgido mediante el entrecruzamiento natural por polinización cruzada (TOZER SEEDS, <https://www.kalettes.com/es/>). En función de la variedad de kalette® tendremos características diferentes ya sea el color o el tiempo de maduración (TOZER SEEDS, <https://www.tozerseeds.com/uk/product-category/brassicas/kalettes>)



Figura 12. Tallo longitudinal de cogollo de la variedad Snowdrop, a la izquierda. Cogollos de kalette[®]
Fuente: Fundació Miquel Agustí.

Col de Bruselas

La col de Bruselas (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) es una planta herbácea bienal, con tallo erguido de 0.5 a 1 m de altura, del cual surge una serie de follaje (Maroto et. al., 1995). Hojas largamente pecioladas de limbos, ovales o redondos y que termina en una roseta de hojas. En las axilas de las hojas laterales existen unas yemas foliáceas que a lo largo del ciclo vegetativo se hipertrofian, formando de forma escalonada (Sobrino, 1994), unos cogollos laterales de tamaño pequeño que constituyen los órganos de aprovechamiento de esta hortaliza, que pueden pesar entre 10 a 100 g, siendo estos los que se consumen en un estado tierno y se van cortando de abajo hacia arriba del tallo conforme al desarrollo deseado.



Figura 13. Disposición de los cogollos en una planta de *Brassica oleracea* var. *gemmifera*, a la izquierda. Cogollos de coles de Bruselas, a la derecha. Fuente: Fundació Miquel Agustí.

1.6 Composición nutricional

Como se puede observar en la **Tabla 3**, aunque todas las variedades poseen altos porcentajes de agua, el híbrido BIMÍ[®] tiene un mayor contenido de agua (94 g/ 100 g de producto comestible), por ende, será el que menor contenido en materia seca posea. Asimismo, las coles de Bruselas son la variedad con menor contenido de agua y el mayor contenido de cenizas, siendo de 1.37 g/ 100 g de producto comestible. Las cenizas dan datos diferentes entre las variedades, desde 0.64 g/100g de producto para las coles hasta 1.53 g/ 100g de producto para la kale, y no se mantienen similares como en el contenido de agua.

Según un estudio publicado por Artés et al., (2001) el pH del brócoli se sitúa entre el 6.5 que vendría a ser entre ácido y neutro, asimismo la acidez titulable (AT) tiene un valor de 0.056 g de ácido cítrico/ 100 g de producto, siendo el ácido cítrico el ácido mayoritario en *Brassica oleracea*. Los sólidos solubles totales tienen un valor de 8.4 g /100 g de producto. Por otra parte, los valores presentados por Sabir (2012) dan un valor de 2.15 g de ácido cítrico /100 g de producto para la acidez titulable y un contenido de sólidos solubles del 5.9%. El contenido de agua que presenta (Liu et al., 2014) es similar a los valores de la **Tabla 3**, siendo 86.20% y los sólidos

solubles también se asemejan al estudio anterior (8.67%), en contraposición, el valor para la acidez titulable es de 2.15 g ácido cítrico/ 100 g de producto.

Los valores nutricionales para la coliflor expresados en el estudio *Atmósfera modificada en la conservación y calidad de la coliflor mínimamente procesada* son: pH de 6.93, contenido de sólidos solubles en °Brix de 5.88 y 2 g de ácido cítrico/ 100 g de producto. En lo referente al color, luminosidad (L*) de 89.4 (Furlaneto et al., 2017).

Seguidamente, la col presenta valores similares según 2 autores distintos. Tanto (Jagannath et al., 2012) como (Martínez et al., 2010) designan un valor de pH del 6.5, por el contrario, el primero da un valor de AT de 0.3 g ácido cítrico /100 g de producto y 4 °Brix, mientras que Martínez et al. dota a la col de valores de AT que oscilan entre 0.043 a 0.057 % de ácido cítrico y un contenido de sólidos solubles de 7.82 a 9.45 g en 100 g de producto en función del tipo de hoja que se estudie. Por otro lado, (Ferreira y Silva, C. O. da; Pascoal, 2014) expone que los valores para col de AT son de 1.03% de ácido cítrico y 5.56% de sólidos solubles.

En el mismo ensayo de Martínez et al. (2010) la kale recibe los siguientes valores: pH de 6.39, sólidos solubles de 9.4 °Brix y una acidez titulable de 0.03% de ácido cítrico. Así pues, no hay homogeneidad en los valores de acidez titulable para kale. (Akdaş y Bakkalbaşı, 2017) exponen que la kale tiene una acidez titulable del 0.3%, pH de 6 y 9.4 °Brix, mientras que (Kim, 2012) da 0.841 % de ácido cítrico. Para (Armesto et al., 2015) los valores de sólidos solubles y acidez titulable varían en función del tipo de kale, si la variedad de kale es de hoja lisa, sólidos solubles igual a 13% y una AT de 0.093%, por el contrario si se trata de una variedad de hoja rizada, tendremos 11.55% de sólidos solubles y 0.085 % de ácido cítrico.

Tabla 3. Composición nutricional en cada 100 g de las porciones comestibles de diferentes variedades de *Brassica oleracea* L. (Cartea et al., 2011)

	*	Brócoli	Col de Bruselas	Col	Coliflor verde	Coliflor	Kale	BIMI®
Agua	g	89	86	92	90	92	84	94
Energía	kcal	34	43	25	31	25	50	22
Proteína	g	2.82	3.38	1.28	2.95	1.98	3.3	3.17
Lípidos totales	g	0.37	0.3	0.1	0.3	0.1	0.7	0.49
Cenizas	g	0.87	1.37	0.64	0.88	0.71	1.53	0.93
Carbohidratos	g	6.64	8.95	5.8	6.09	5.3	10.01	2.85
Azúcares	g	1.7	2.2	3.2	3.03	2.4	-	0.38

*Por 100 g de producto comestible

1.7 Mejora de la calidad

La apariencia comercial, el valor nutritivo de las hortalizas y la capacidad de conservación del producto son posturas que engloban el concepto de calidad en los cultivares hortícolas de *Brassicas* y que suponen un valor añadido. Debido a la gran diversidad que presentan dichos cultivos, los criterios de calidad varían según el cultivo y la forma de consumo. Por consiguiente, si se consume el producto fresco, la apariencia (color, tamaño y forma) será un punto importante que influirá al consumidor, lo que obliga a los productores a ofrecer productos competitivos de alto valor comercial (A. de Haro-Bailón, M. del Río, M.E Cartea, 2006).

El valor nutritivo de cualquier alimento depende de su composición en nutrientes. En los cultivos hortícolas se dará prioridad al análisis de elementos que tengan incidencia en características organolépticas. Tras el agua, en los cultivos hortícolas de Brassicas, los hidratos de carbono y la fibra son los componentes más abundantes, seguidos, en menor proporción de proteínas y grasas (A. de Haro-Bailón, M. del Río, M.E. Carrea, 2006). Los hidratos de carbono y la fibra se traducen en los parámetros químicos de sólidos solubles totales (°Brix) y porcentaje de materia mineral, respectivamente.

Como se ha dicho anteriormente, el color es vital para la calidad de los productos. En las coliflores, la blancura en las pellas se debe a una ausencia casi total de pigmentación, lo que lleva a una proporción muy alta de luz que se refleja en el ojo del observador. Los pigmentos como la clorofila verde que están presentes en grandes cantidades en la mayoría de los cultivos de *Brassica* contribuyen sustancialmente a aumentar el atractivo visual. En el caso de las coles, coles de Bruselas y brócoli verde, el consumidor asocia una apariencia de fresca con los tonos verdes y brillantes. Las coliflores coloreadas se consideran de buena calidad debido a la presencia de atractivos pigmentos de antocianina de color rojo, naranja o amarillo (Dixon, 2007).

La obtención de híbridos de cultivos englobados en la especie *Brassica oleracea* ha sido clave para la mejora de la calidad de sus productos. La producción de híbridos como BIMÍ® y kalette® anteriormente mencionados en este trabajo, está justificada cuando los beneficios obtenidos compensan el coste económico y en los caracteres para los cuales se selecciona presentan heterosis³.

1.8 Antecedentes: Proyecto BRAAVA

El Proyecto BRAAVA (*Brassicas* de alto valor añadido) pretende explorar la variabilidad existente dentro de la especie *Brassica oleracea* L., evaluando germoplasma proveniente de diferentes zonas de Europa, con la finalidad de seleccionar las variedades que mejor se adaptan a las condiciones agro-comerciales de la zona del Parc Agrari del Baix Llobregat, y que a su vez, presenten singularidades que permitan crear nuevos productos comerciales que puedan ser asociados por los consumidores del área Metropolitana a la producción de proximidad. El proyecto consta de un programa de selección de 4 años. La selección se realiza gracias a una evaluación agronómica y morfológica, y a jornadas de selección participativa de agricultores y cocineros.

El objetivo es obtener variedades con un alto valor añadido en un sentido amplio, es decir, variedades que presenten una buena calidad organoléptica, propiedades nutricionales objetivamente demostrables y que queden muy diferenciadas morfológicamente del resto de variedades existentes al mercado.

Este trabajo queda enmarcado en el segundo de los 4 años de proyecto donde se busca realizar una caracterización nutricional básica de los genotipos escogidos en la selección participativa del primer año de proyecto. En concreto, en este trabajo se ha llevado a cabo la recopilación de datos de los parámetros químicos: contenido de agua y de materia seca, materia mineral, pH,

³ Heterosis: término utilizado en genética para la crianza y mejoramiento selectivo que describe la mayor fortaleza de diferentes características en los mestizos (heterocigotos); la posibilidad de obtener mejores individuos por la combinación de virtudes de sus padres, mediante la exogamia.

acidez titulable y contenido de sólidos solubles totales. Así pues, con dichos datos se procederá a hacer una selección de 30 genotipos (en función de los resultados de materia mineral y de contenido de sólidos solubles) que pasará al tercer año del Proyecto BRAAVA.

2. OBJETIVOS

Para explorar la variabilidad existente dentro de la especie *Brassica oleracea* y obtener variedades de alto valor añadido es necesario conocer a fondo las variedades de esta especie. Los objetivos planteados para la realización de este trabajo dentro del Proyecto BRAAVA son:

- Caracterizar química y nutricionalmente 61 genotipos de diferentes variedades de *Brassica oleracea* y comprobar la variación entre el tipo varietal y el genotipo dentro del tipo varietal de Brassica en las características químicas.
- Realizar una revisión bibliográfica de los valores de los parámetros de estudio para los mismos tipos varietales, obtenidos por diferentes autores.
- Comprobar cómo se comportan los distintos genotipos en función de los parámetros químicos y de color.
- Elegir los genotipos candidatos a pasar al tercer año del proyecto BRAAVA según 2 de los parámetros químicos estudiados: materia mineral y contenido de sólidos solubles totales de relevancia para la mejora de calidad (valor añadido).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal

Se ensayaron 61 genotipos compuestos por: 47 variedades comerciales, 9 variedades tradicionales y 5 variedades mejoradas. En las **Tablas 4 - 12** se recogen las variedades con información sobre el origen de las semillas.

De los 61 genotipos, 32 corresponden a variedades que fueron escogidas en el primer ciclo de selección del proyecto BRAAVA, a partir de las características morfológicas y de la selección participativa de agricultores, y 26 son nuevas variedades procedentes de casas de semillas y agricultores. Seguidamente, 2 variedades provienen de planteristas y 3 genotipos son externos, el espigall y 2 coles de paperina respectivamente.

Tabla 4. Variedades de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_0101	Cavolo broccolo ramoso calabrese natalino	Variedad tradicional	Banco de semillas del UKVGB
BRAS_0102	Cavolo Ramoso Tardivo di marzo, Calabrese	Variedad tradicional	Banco de semillas del UKVGB
BRAS_2061	Broccoli (Autumn) Beaumont F1	Variedad comercial	Mr. Fothergrill's
BRAS_2102	Calabrese, Broccoli Miranda	Variedad comercial	Seedaholic
BRAS_2112	Belstar F1	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2116	Quinta F1	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2117	Miranda	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2129	Broccoli TSX-8011 F1	Variedad comercial	Tozer
BRAS_2130	Calabrese TRI 9056 F1	Variedad comercial	Tozer
BRAS_2132	ZEN	Variedad comercial	Tokita
BRAS_2133	MATSURI	Variedad comercial	Tokita
BRAS_2134	Calabrese Tirreno	Variedad comercial	-
BRAS_2135	Gargano broccoli	Variedad comercial	-
BRAS_2141	Marathon	Variedad comercial	Sakata
BRAS_2142	Parthenon	Variedad comercial	Sakata
BRAS_2143	Triton	Variedad comercial	Sakata
BRAS_2144	Naxos	Variedad comercial	Sakata

Tabla 5. Variedades de brócoli ramificado (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_0087	Italian green sprouting	Variedad mejorada	Banco de semillas del UKVGB
BRAS_0094	Sparaceddo	Variedad mejorada	Banco de semillas del UKVGB
BRAS_0105	Cavolo sparacello	Variedad mejorada	Banco de semillas del UKVGB
BRAS_0172	Espigall del garraf	Variedad tradicional	
BRAS_2038	Mendocino (Sprouting broccoli)	Variedad comercial	Bejo
BRAS_2039	Rioja (Sprouting broccoli)	Variedad comercial	Bejo
BRAS_2040	Santee (Sprouting broccoli)	Variedad comercial	Bejo
BRAS_2042	Sprouting Broccoli Red Arrow	Variedad comercial	Dobies of Devon

Caracterización nutricional básica de Brassicas de alto valor añadido

BRAS_2047	Chou Broccoli Agetti di Napoli	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2065	Broccoli (Sprouting) Summer Purple	Variedad comercial	Mr. Fothergrill's
BRAS_2072	Monflor	Variedad comercial	Syngenta
BRAS_2074	Broccoli Early Purple Sprouting Red Arrow	Variedad comercial	Thompson and Morgan
BRAS_2080	Broccoli extra early sprouting rudolph	Variedad comercial	Thompson and Morgan
BRAS_2085	Broccoli Red Admiral F-1	Variedad comercial	Tozer Seeds
BRAS_2086	Broccoli TZ 5055 F-1	Variedad comercial	Tozer Seeds
BRAS_2096	Purple Sprouting Broccoli "summer purple"	Variedad comercial	Seedaholic

Tabla 6. Variedades de coliflor y coliflor morada (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*). Código de identificación, nombre común, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_0057	Bròquil de desembre	Variedad tradicional	Banco de semilla del COMAV
BRAS_0062	Bròquil Santa Teresa morat	Variedad tradicional	Banco de semilla del COMAV
BRAS_2056	Chou-fleur F1 Cheddar	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2058	Chou-fleur di sicilia Violetto	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2115	F1 Graffiti	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2118	Cavolfiore di Sicilia Violetto	Variedad comercial	Franchi sementi
BRAS_2119	Chou fleur violet de Sicile	Variedad comercial	Fraîcheurs d'Antan
BRAS_PL2	Bròquil morado	Variedad tradicional	Claudi

Tabla 7. Variedades de kale (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*). Código de identificación, nombre común, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_2091	Kale TZB 9332	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2093	Kale TZB 0277	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2094	Kale Black Magic TZ 9096	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2113	Chou frise scarlet	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2131	Kale Dwarf Green Curled Afro	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2137	Kale TZ 6379 F1	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2139	Kale TZ 5452 F1	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd
BRAS_2140	Kale TZ 6382 F1	Variedad comercial	Tozer Seeds Ltd

Tabla 8. Variedades de col de paperina (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_0065	Col paperina	Variedad mejorada	Banco de semilla del COMAV
BRAS_PL1	Col paperina	Variedad tradicional	Claudi
BRAS_PL3	Col paperina	Variedad tradicional	-
BRAS_PL4	Col paperina	Variedad tradicional	Mas Pastoret

Tabla 9. Variedades de kalette® (*Brassica oleracea* var. *sabellica* x *gemmifera*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_2088	Flower Sprout Autumn Star TZ0357 F-1	Variedad comercial	Tozer Seeds
BRAS_2089	Flower Sprout Autumn Rose TZ0479 F-1	Variedad comercial	Tozer Seeds
BRAS_2111	Flower sprout TZ 0101 tardif	Variedad comercial	Graines Baumaux

Tabla 10. Variedades de col de Bruselas (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_2127	Long island	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2128	Falstaff F1	Variedad comercial	Graines Baumaux

Tabla 11. Variedades de BIMi® (*Brassica oleracea* var. *alboglabra* x *italica*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_2051	Chou Broccoli F1 sticcoli	Variedad comercial	Graines Baumaux
BRAS_2062	Brokaly Apollo F1	Variedad comercial	Mr. Fothergrill's

Tabla 12. Variedades de Romanesco (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). Código de identificación, nombre de la variedad, categoría y origen de la semilla.

Genotipo	Nombre variedad	Categoría	Origen semilla (empresa)
BRAS_0092	Sparacelo siciliano	Variedad mejorada	Banco de semillas del UKVGB

3.2 Diseño experimental

Las variedades fueron plantadas en la comarca del Baix Llobregat, concretamente en Parc UPC-Agrópolis, un campo experimental en Viladecans (41°30'09.2"N 2°01'04.0"E).



Figura 14. Localización del campo experimental Agrópolis, Viladecans.

Aproximadamente un mes y medio después de la primera siembra y un mes después de la segunda, más concretamente la primera semana de septiembre, se realizó el trasplante de las plantas. La plantación se hizo de forma manual con la ayuda de un plantador.

Para retener el crecimiento de adventicias y retener la humedad, se instaló acolchado de plástico negro sobre la línea de cultivo. En estas mismas líneas de cultivo se instalaron cintas de riego por goteo. El espacio entre las líneas de plástico se trabajó con motocultor y tractor. En lo relativo al control de plagas y enfermedades, se realizaron varios tratamientos.



Figura 15. Cultivo de Brassica protegido con acolchado de plástico negro. Fuente: propia.

Una vez las plantas estuvieran maduras para ser recolectadas, se recogieron varias muestras representativas de cada genotipo. Con este material se efectuará el análisis químico para la caracterización nutricional básica de las muestras.

3.3 Fenotipado de la composición química

Para la realización del fenotipado de la composición química de los materiales, se realizó una preparación previa de las muestras que llegaban del campo el mismo día de la cosecha. En primer lugar, se hacía la determinación del color mediante 3 lecturas en tres puntos equidistantes formando un triángulo en la superficie de las muestras con el colorímetro Konica Minolta CR-400 (**Anejo B.6**). Seguidamente, las muestras se lavaron con agua de red para limpiar la tierra y el polvo, se cortaban y se dejaban secar para eliminar el agua sobrante. A continuación, los materiales preparados se congelaron y pulverizaron a baja temperatura y se almacenaron a -20°C (**Anejo A**).

A partir del material congelado, se procedió al análisis de la composición química para evaluar los siguientes parámetros:

- Contenido de agua y materia seca

El porcentaje de agua y materia seca de los genotipos se establece mediante una gravimetría o diferencia de peso entre la muestra húmeda y seca; consiste en pesar 30g de muestra, extenderlos en bandejas de aluminio y dejarlos secar a 60°C durante 72 horas (**Anejo B.1**). El material seco se pulverizará para conseguir harina de puré.

- Contenido de materia mineral

La materia mineral se obtiene al someter un alimento a un proceso de incineración, mediante el cual destruye la materia orgánica. Así pues, se pesa 1 g de harina seca de puré del material vegetal en crisoles previamente tarados. Entonces, se calcinan los crisoles en un baño de arena a máxima potencia hasta que deje de salir humo, se pasan a la mufla donde se dejarán por 4 horas a 450°C para eliminar la materia orgánica. Las cenizas permanecen como residuo de este proceso (**Anejo B.2**).

- pH y acidez titulable

El pH se mide sumergiendo el electrodo en la disolución problema, en este caso 10 g de muestra vegetal diluidos en 50 ml de agua destilada manteniendo la muestra en agitación (Sierra, 2007). Se apunta el pH de la muestra (**Anejo B.3**).

Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y la estabilidad de los mismos.

La acidez titulable de un alimento corresponde a la cantidad de ácidos libres presentes en dicho alimento y se determina por medio de una volumetría ácido-base, para medir la concentración total de los ácidos.

Para determinar la acidez titulable, se valoran 10 g de muestra en 50 ml de agua frente a una base valorada, en este caso hidróxido de sodio (NaOH 0.1M), hasta llegar a pH 8.10. El volumen de agente valorante consumido, junto con la normalidad de la base y el peso de la muestra se utilizan para calcular la acidez titulable, expresada en términos del ácido orgánico predominante, en el caso de las Brassicas, ácido cítrico (**Anejo B.4**)

- Sólidos solubles totales (°Brix)

Los sólidos solubles totales de un alimento se valoran a partir de los °Brix. Los °Brix son una unidad de cantidad para determinar el cociente total de materia seca, en este caso azúcares, disuelta en un líquido. Se pesan 10 g de muestra y se centrifugan a 9000 rpm durante 15 minutos a 4 °C. Con una gota del sobrenadante sobre el refractómetro, se obtiene los °Brix (**Anejo B.5**).

3.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los ensayos químicos anteriormente explicados se analizaron estadísticamente con el software estadístico R (x64 3.5.0) y el paquete *agricolae*. Para estudiar el efecto de los diferentes caracteres evaluados se usó el ANOVA (Análisis de la varianza) de 1 factor, siendo este el tipo varietal y una interacción entre tipo varietal y genotipo. Para aquellos parámetros significativos ($p < 0,05$) se realizó la separación de medias utilizando el procedimiento de la Mínima Diferencia Significativa (LSD). Para aquellos tipos varietales con 2 genotipos, se usó el estadístico T-Student. También se realizó un Análisis de los Componentes Principales (PCA) para saber cómo se comportan los genotipos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fenotipado de la composición química

4.1.1 Análisis de la varianza

4.1.1.1 Parámetros químicos

Los resultados del ANOVA muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) tanto para el factor tipo varietal para la interacción tipo varietal y genotipo, todos los caracteres evaluados (**Tabla 13**).

Tabla 13. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal y la interacción entre tipo varietal y el genotipo, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Tipo varietal	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***
Tipo varietal.Genotipo	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' < 0,001, '**' < 0,01, '*' < 0,05.

4.1.1.2 Parámetros de color

Los resultados del ANOVA muestran diferencias significativas para los parámetros del espacio del color $L^*a^*b^*$ (CIELAB), donde L^* indica la luminosidad, a^* las coordenadas cromáticas de rojo/verde y b^* las coordenadas cromáticas de azul/amarillo. Estos resultados afirman que los genotipos son de diferente color entre ellos (**Tabla 14**).

Tabla 14. Significación del test ANOVA de los parámetros del color medidos en os materiales de estudio según el genotipo. Las letras L^* , a^* y b^* corresponden a luminosidad, y a las coordenadas cromáticas respectivamente.

Factor	L^*	a^*	b^*
Genotipo	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***	< 2.2e-16 ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' < 0,001, '**' < 0,01, '*' < 0,05.

4.1.2 Comparación de medias

4.2.1 Parámetros químicos según el tipo varietal

La **Tabla 15** muestra los valores medios obtenidos de los diferentes parámetros evaluados por cada tipo varietal. El contenido de materia seca (MS) es inversamente proporcional al contenido de agua, por esta razón, vemos que el tipo varietal kalette® es a su vez quien posee un valor superior de materia seca (17.37%) y el menor valor de agua. Por contraposición, la col es el tipo varietal que posee una mayor cantidad de agua (92.55%). Exceptuando a los brócolis, coles de Bruselas, ramificados y romanesco, todos los demás tipos varietales se encuentran en diferentes grupos para esos caracteres.

Tal como indican Cartea et al. (2011) (**Tabla 3**, apartado **1.6 Composición nutricional**), las coles son el tipo varietal de *Brassica oleracea* con mayor contenido de agua y las kales del tipo varietal

con mayor cantidad de materia seca. Tanto en dicha tabla como en los resultados se da un valor de 92% de contenido de agua para el tipo varietal col.

Si se sigue hablando de la variedad kale, ésta se encuentra en un único grupo con el mayor contenido de cenizas, 1.92 g de ceniza/ 100 g de producto. Los brócolis, las coles de Bruselas, romanesco y el brócoli ramificado se agrupan en una misma letra (c) con valores parecidos entre 1.22 y 1.25 g de ceniza/100 g de producto.

Romanesco posee el pH más elevado (6.11), es decir, es la variedad menos ácida de todas, mientras BIMi posee el menor valor de pH, 4.98. El pH obtenido en el brócoli es bastante diferente a los expuestos anteriormente en el apartado **1.6 Composición nutricional**. Así pues, mientras Artés et al., (2001) da un valor de 6.5 nuestro resultado es de 5.12. En esta misma línea, la acidez titulable de este mismo autor resulta ser 10 veces inferior a la de nuestros resultados, 0.53 g de ácido cítrico/ 100 g de producto. Por el contrario, los valores de sólidos solubles resultan similares pues oscilan al 8%.

En los parámetros de acidez titulable y contenido de sólidos solubles, todas las variedades son estadísticamente diferentes entre sí, pues cada una ha sido designada a un grupo distinto. Si se mira el primer parámetro, la variedad que contiene una mayor concentración de ácido cítrico es el híbrido BIMi®, que posee un 0.53%. Col de Bruselas y Kalettes® tienen valores parecidos (0.63 y 0.61 g de ácido cítrico/ 100 g de producto, respectivamente), esto puede ser debido a que la segunda es una hibridación natural entre la col de Bruselas y la kale. Los valores obtenidos de acidez titulable de kale han sido más bajo que aquellos presentados anteriormente (**1.6 Composición nutricional**), pues eso valores iban desde el 0.841 al 0.031% de ácido cítrico. Aun así, el valor de sólidos solubles de las kalettes® es similar al valor de sólidos solubles de kales presentado por Armesto et al., (2015) para kales de hoja rizada (11.55 °Brix), que a su vez es la variedad con mayor contenido de sólidos solubles en 100 g de producto. También se encuentra similitud entre el valor de °Brix de la variedad que posee una menor concentración de estos y el valor expuesto anteriormente, siendo este de 5.56% para la col (Ferreira y Silva, C. O. da; Pascoal, 2014).

Tabla 15. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el factor tipo varietal.

Tipo varietal	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Kalette®	17.37 a	82.63 g	1.52 b	5.67 b	0.61 c	11.1 a
Kale	16.82 b	83.18 f	1.92 a	5.33 e	0.53 e	10.05 c
Col Bruselas	15.11 c	84.89 e	1.25 c	5.71 b	0.63 b	10.5 b
Brócoli ramificado	14.3 c	85.06 e	1.25 c	5.48 c	0.57 d	9.47 d
BIMI®	13.96 d	86.04 d	1.02 d	4.98 f	0.69 a	8.65 e
Brócoli	12.94 e	87.06 c	1.06 d	5.12 f	0.53 e	8.18 f
Romanesco	12.58 e	87.41 c	1.22 c	6.11 a	0.26 g	7.7 g
Coliflor	10.66 f	89.34 b	0.91 e	5.41 d	0.4 f	6.88 h
Col	7.44 g	92.55 a	0.69 f	5.61 b	0.19 h	5.82 i

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

En resumen, los tipos varietales –Kale- y –Kalette®- se reúnen los parámetros químicos más interesantes ya que sus valores de cenizas y °Brix son los más altos. Tal como se explica en el apartado **1.7 Mejora de calidad**, esos dos parámetros son los más importantes a la hora de definir la calidad en *Brassic*as.

4.1.3 Análisis de componentes principales (PCA)

4.1.3.1 Parámetros químicos

En el Análisis de Componentes Principales realizado con los parámetros químicos los dos primeros componentes principales explican el 86.59% de la varianza, 65.14% para la dimensión 1 y 21.45% para la dimensión 2 (**Figura 16**). El primer componente está correlacionado positivamente y de forma significativa con la materia seca (0.98), los °Brix (0.89), el contenido de cenizas (0.76) y la acidez titulable (0.76) y negativamente con el contenido de agua con un valor de correlación de -0.98. El segundo componente está correlacionado positivamente y de forma significativa con el pH (0.96) y negativamente con la acidez titulable (-0.52).

Las variables materia seca, °Brix y cenizas están muy próximas entre sí, esto indica que, cuanto más azúcar, más materia seca, y más cenizas por muestra.

Así mismo, la cantidad de agua de la muestra no altera el pH, y viceversa, porque no están correlacionados. No ocurre lo mismo con el agua y los °Brix, cuanto más elevada es la cantidad de agua de la variedad, menos cantidad de sólidos solubles (°Brix), cenizas y materia seca hallaremos, porque son valores correlacionados negativamente. Esto es razonable, pues a mayor porcentaje de agua, menos porcentaje de esos elementos hay en la muestra.

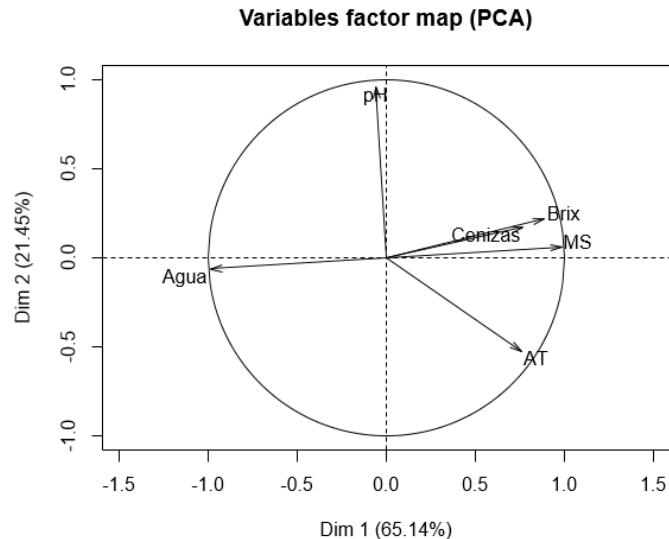


Figura 16. Círculo de correlaciones de los parámetros químicos determinados.

En la **Figura 17** se observa la distribución de los genotipos en el plano descrito por los dos primeros componentes. Las coles son el tipo varietal que mayor contenido de agua tiene. Tal y como se había visto anteriormente en el LSD, este mapa bidimensional confirma que romanesco es la variedad de mayor pH, junto con un genotipo de coliflor y 2 genotipos de brócoli ramificado. En contraposición, la mayoría de los genotipos de brócolis presentan valores más bajos de esta variable.

Asimismo, la mayoría de los genotipos de kales y kalettes®, seguidas de variedades de coles de Bruselas poseen altas cantidades de sólidos solubles, materia seca y cenizas. Cabe recordar que las kalettes® son híbridos producidos por el cruzamiento de coles de Bruselas y kales por lo que estos resultados son esperados. Lo mismo sucede para los BIMIs®, que son híbridos entre kai-lan y brócoli.

La mayoría de genotipos se concentran en el centro del mapa, esto indica una homogeneidad entre algunos genotipos de brócoli, brócoli ramificado.

Individuals factor map (PCA)

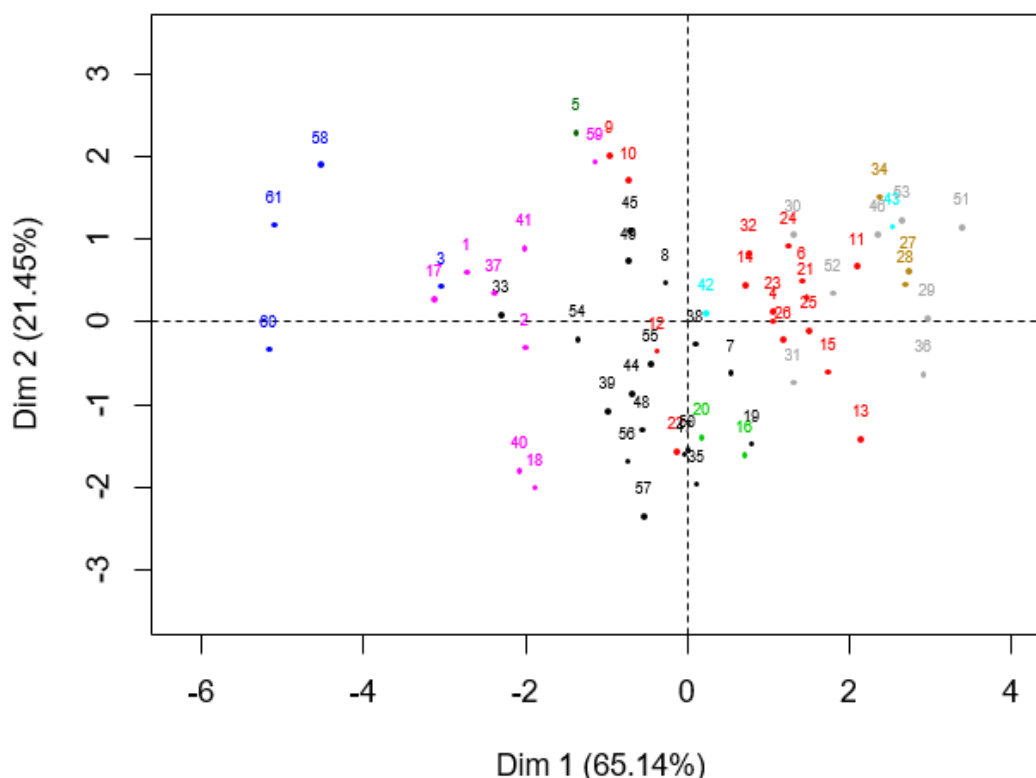


Figura 17. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA.

- Coliflor ● Col ● Brócoli ● Romanesco ● Brócoli Ramificado ● Col Bruselas ● Kale ● BIMIs®
- Kalette®

4.1.3.2 Parámetros del color

Según la **Figura 18**, el Análisis de Componentes Principales realizado con los parámetros de color los dos primeros componentes explican el 78.73% de la varianza, 50.53% para la dimensión 1 y 28.20% para la dimensión 2. El primer componente está relacionado positivamente y de forma significativa con L* (0.96) y b* (0.92) y negativamente con a* (-0.52). En el segundo componente, las variables a* y L* están relacionadas positivamente, con valores de correlación de 0.84 y 0.33, respectivamente.

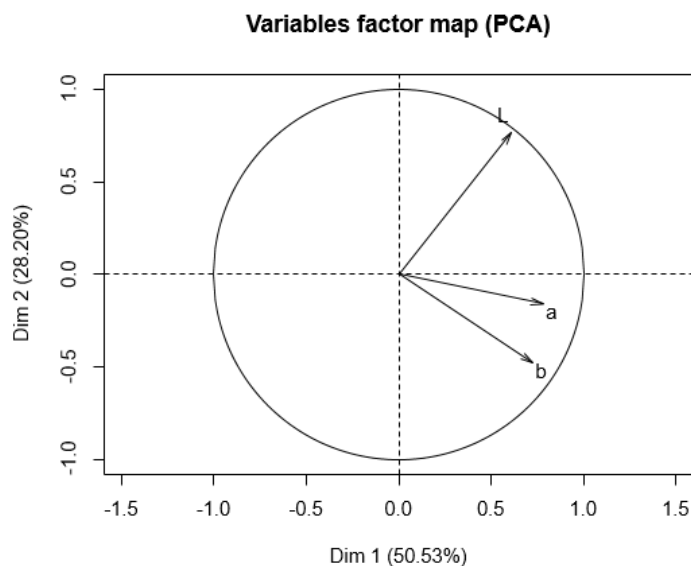


Figura 18. Círculo de correlaciones de los 3 parámetros de colores, Luminosidad (L^*), coordenada cromática verde/rojo (a^*) y coordenada cromática azul/amarillo (b^*)

La **Figura 19** se observa la distribución de los genotipos en el plano descrito por los dos primeros componentes. Podemos ver que hay un genotipo que posee una mayor luminosidad que los demás, esto lo hace único entre los otros 60 restantes. Por otra parte, tanto brócolis, coliflor como brócoli ramificado parecen compartir los valores de las coordenadas cromáticas a^* y b^* . Cabe recordar que estos genotipos comparten tonos, pues muchos son de tonalidades moradas, verdes y verde amarillentas. En esta misma línea, los genotipos de colores más oscuros tendrán menos valores de luminosidad (L^*).

Individuals factor map (PCA)

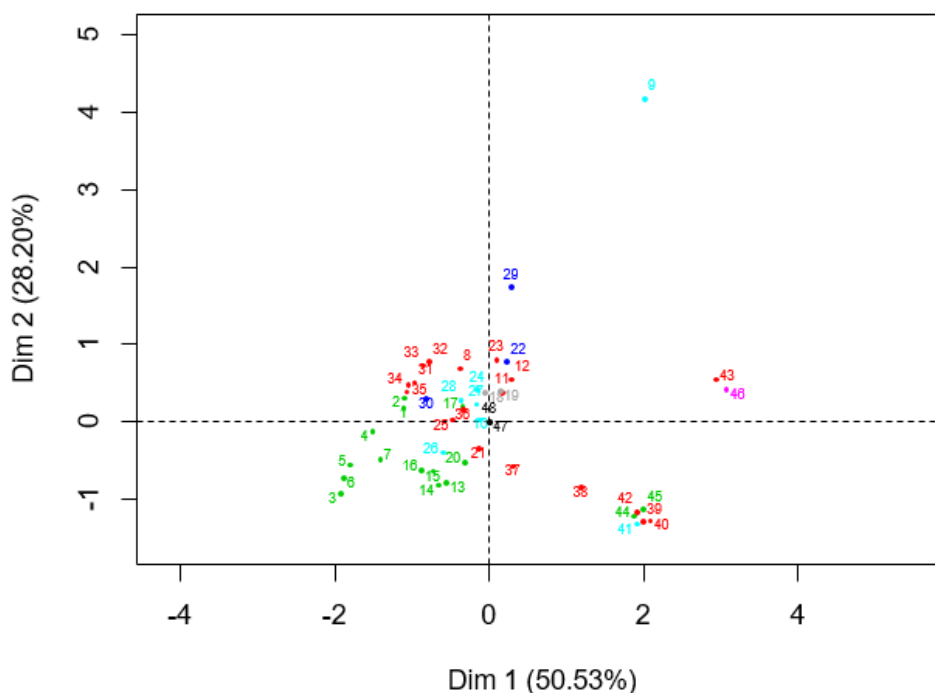


Figura 19. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA. Luminosidad (L^*), coordenada cromática verde/rojo (a^*) y coordenada cromática azul/amarillo (b^*)

4.1.3.3 Combinación parámetros químicos y parámetros de color

La **Figura 20** es el resultado del Análisis de Componentes Principales de los parámetros químicos y del espacio del color $L^* a^* b^*$. Los dos primeros componentes explican el 73.11% de la varianza. El primer componente explica sobre todo parámetros químicos, que están correlacionados positivamente y de forma significativa son la materia seca (0.95), los °Brix (0.89), el contenido de cenizas (0.83) y la acidez titulable (0.79). El agua está relacionada negativamente y de forma significativa (-0.95) así como los parámetros de color b^* (-0.51) y L^* (-0.61).

El segundo componente explica que están de correlacionadas positivamente y de forma significativa b^* (0.77), L^* (0.65) y pH (0.50), mientras que a^* es una variable correlacionada de forma negativa y significativa (-0.60).

Igual que en la anterior **Figura 16**, en la **Figura 20** se halla una proximidad entre las variables materia seca, °Brix y cenizas, es decir, están correlacionadas entre ellas. Este parámetro está correlacionado negativamente con el agua. Esto puede deberse a que a mayor cantidad de agua mayor disociados estarán los protones provocando un aumento del pH en la muestra.

Un mayor valor de acidez titulable hace que la muestra sea más azulada y oscura, mientras que una acidez baja hace la muestra más clara y amarilla. Debido a que se incluyen los colores como variables, la relación ácido-agua-pH no es tan observable, de ahí que se influyan menos entre sí.

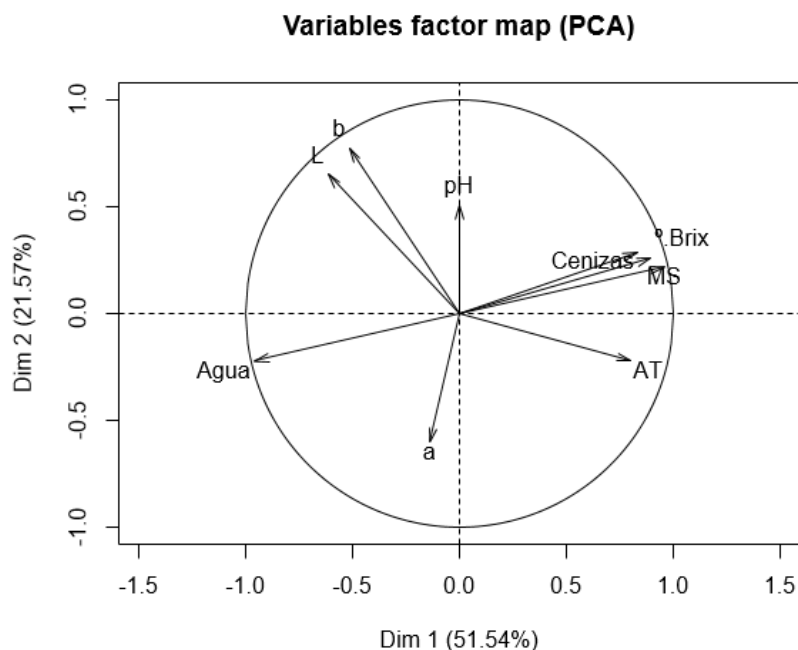


Figura 20. Círculo de correlaciones de los 3 parámetros de colores y químicos. Materia Seca (MS), Acidez titulable (AT), Luminosidad (L*), coordenada cromática verde/rojo (a*) y coordenada cromática azul/amarillo (b*)

El mapa bidimensional mostrado en la **Figura 21** que combina los caracteres químicos con los parámetros de color. Mirando conjuntamente las **Figuras 20** y **Figura 21** se observa que los genotipos de brócolis ramificados se concentran en el centro del mapa implicando que poseen altos valores de la coordenada cromática de verde/rojo. De este mismo modo, kale y un genotipo de col de Bruselas poseen altos valores de materia seca, cenizas y contenido de sólidos solubles.

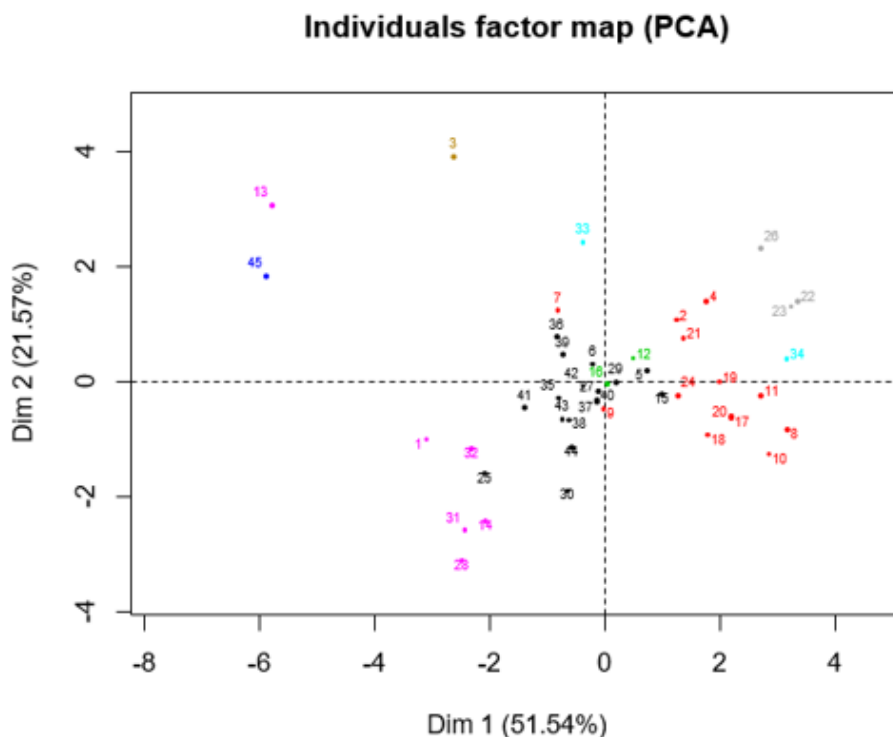


Figura 21. Configuración de los genotipos sobre el primer plano del PCA de la combinación de parámetros de color y los parámetros químicos.

- Coliflor ● Col ● Brócoli ● Romanesco ● Brócoli Ramificado ● Col Bruselas ● Kale ● BIMÍ®
- Kalette®

4.2 Fenotipado de la composición químicas por tipo varietal

Para poder estudiar la variabilidad y las diferencias presentes dentro de cada tipo varietal, se ha realizado un test ANOVA de los parámetros químicos para cada tipo varietal.

4.2.1 Brócoli

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Brócoli- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros (Tabla 16).

Tabla 16. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Brócoli-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Brócoli	1.557e-07	1.557e-07	3.968e-10	8.277e-11	3.238e-14	2.41e-14
li	***	***	***	***	***	***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde *** $<0,001$, ** $<0,01$, * $<0,05$.

En la tabla de comparaciones de medias (Tabla 17) se observa que el genotipo BRAS_0101 conocido como Ramoso Calabrese es el que posee un mayor porcentaje de materia seca (14.62 g de materia seca/ 100 g de producto). En este parámetro los genotipos están poco diferenciados entre ellos, tal y como se refleja en cómo se han formado los grupos.

Caracterización nutricional básica de Brassicas de alto valor añadido

En lo que ha porcentaje de cenizas se refiere, 4 genotipos son claramente diferentes en el tipo varietal –Brócoli-. Los valores más altos de esta variable han sido obtenidos por Ramoso Calabrese y Beaumont F1 (BRAS_2061) con 1.26 y 1.22 g de cenizas en 100 g de producto.

En el caso del pH, Calabrese TRI 9056 F1, Calabrese Tardivo di Marzo y Calabrese Tirreno (BRAS_2130, BRAS_0102 y BRAS_2134 respectivamente) tienen el valor máximo con pH que rondan el 5.6. En contraposición, 4.6 es el valor más bajo correspondiente al brócoli Naxos (BRAS_2144).

La acidez titulable del brócoli ha tenido su valor máximo de 0.62 g de ácido cítrico en 100 g de producto y un mínimo de 0.37 g de ácido cítrico en 100 g de muestra de Calabrese TRI 9056 F1 (BRAS_2130). Este mismo genotipo ha sido quien ha obtenido un mayor valor de °Brix, 9.3. Los grupos “d” y “e” tienen unos valores de °Brix que se corresponden a los nombrados por Artés et al., (2001), aproximadamente 8.4 °Brix.

Ninguno de los valores de acidez titulable para el tipo varietal –Brócoli- se corresponden con los expuestos en el apartado **1.6 Composición nutricional**.

Tabla 17. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Brócoli-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix						
BRAS_0101	14.62	a	85.38	e	1.22	a	5.23	bcd	0,6	ab	8.3	de
BRAS_2061	14.5	ab	85.5	de	1.26	a	4.82	fgh	0,62	a	9	ab
BRAS_2116	13.62	bc	86.38	cd	1.04	cdefg	5.35	bc	0,57	cd	9.1	ab
BRAS_2112	13.51	bc	86.48	cd	1.06	bcde	4.7	gh	0,63	a	8.4	de
BRAS_2132	13.45	c	86.54	c	1.02	defg	4.85	efgh	0,61	ab	8.3	de
BRAS_2135	13.36	cd	86.63	bc	0.96	gh	4.81	fgh	0,58	bc	9.1	ab
BRAS_2142	13.24	cd	86.76	bc	1.12	bc	5.11	cde	0,46	fg	8.3	de
BRAS_0102	13.18	cd	86.82	bc	1.03	defg	5.67	a	0,54	de	8.8	bc
BRAS_2130	13.1	cd	86.9	bc	0.96	gh	5.68	a	0,37	h	9.3	a
BRAS_2133	12.95	cde	87.04	abc	0.93	h	4.9	efg	0,54	e	8.2	e
BRAS_2144	12.78	cde	87.22	abc	1.01	efgh	4.6	h	0,62	a	7.2	f
BRAS_2143	12.71	cde	87.29	abc	1.09	bcd	4.79	fgh	0,55	cde	7	fg
BRAS_2134	12.66	cde	87.34	abc	1.05	cdef	5.63	a	0,43	g	8.8	bc
BRAS_2129	12.43	de	87.56	ab	1.01	efg	5.01	def	0,49	f	8.6	cd
BRAS_2141	12.08	e	87.92	a	0.98	fgh	5.42	ab	0,49	f	6.8	g
BRAS_2117	11.97	e	88.03	a	1.12	b	5.06	def	0,55	de	7.1	fg

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.2 Brócoli ramificado

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Brócoli ramificado- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros (Tabla 18).

Tabla 18. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Brócoli Ramificado-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Ramifica do	1.075e-11 ***	1.075e-11 ***	9.014e-11 ***	1.42e-10 ***	1.671e-15 ***	1.191e-15 ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde *** $<0,001$, ** $<0,01$, * $<0,05$.

En el contenido de agua (Tabla 19). Cavolo Sparacello (BRAS_0105) y Rioja (BRAS_2039) con un 87% poseen los valores más alto para agua presente en esta hortaliza. Por otra parte, Mendocino (BRAS_2038) tiene el porcentaje más bajo (83.17%). La diferencia entre ellos es del 4%.

Para el carácter pH, Cavolo Sparacello (BRAS_0105) es el valor más elevado con 6.11. Este valor se asemeja al valor de pH presentado por Artés et al., (2001), que se correspondía a pH igual a 6.50, debido a que tanto el brócoli como el brócoli ramificado son de la variedad botánica *italica*, se pueden hacer las comparaciones de los valores del primero con los del segundo.

En la acidez titulable, Santee (BRAS_2040) es la hortaliza con menos valor de ácido cítrico del grupo de brócolis ramificados, con una acidez titulable de 0.8 g de ácido cítrico/ 100 g de producto que se asemeja al valor de 0.9 g de ácido cítrico/ 100 g presentado por Sabir, (2012). Por el contrario, la hortaliza con mayor cantidad de ácido cítrico corresponde a Cavolo Sparacello (0.3 g de ácido cítrico/ 100 g de producto). Aun cuando estos valores son similares para todos los genotipos de este tipo varietal, siguen sin estar entre el rango presentado por Liu et al., (2014) de 2.15 g de ácido cítrico/ 100 g de producto.

Santee (BRAS_2040) registró el mayor valor de sólidos solubles con 11.1 °Brix y Cavolo Sparacello (BRAS_0105) obtuvo el menor valor con 8 °Brix.

Tabla 19. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Brócoli Ramificado-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix						
BRAS_2038	16.83	a	83.17	g	1.34	bc	5.68	bcd	0.63	bc	10.5	b
BRAS_2047	15.94	b	84.06	f	1.57	a	5.11	hij	0.62	bcd	9.4	e
BRAS_2085	15.9	b	84.1	f	1.27	cde	5.32	efgh	0.59	cde	10.1	c
BRAS_2080	15.9	b	84.1	f	1.32	bcd	5.73	bc	0.54	gh	9.6	de
BRAS_2074	15.77	b	84.23	f	1.16	fg	5.42	defg	0.55	fg	9.5	e
BRAS_2086	15.76	b	84.24	f	1.25	cdef	5.26	fghi	0.56	efg	9.5	e
BRAS_2040	15.37	bc	84.62	ef	1.24	defg	5	ij	0.8	a	11.1	a
BRAS_2065	15.36	bc	84.64	ef	1.21	efg	5.56	bcde	0.63	b	10.6	b
BRAS_0094	15.26	bc	84.74	ef	1.4	b	5.64	bcd	0.62	bcd	9.9	cd
BRAS_2042	15.14	bc	84.86	ef	1.15	g	5.51	cdef	0.51	h	9.6	de
BRAS_0087	14.72	cd	85.27	de	1.27	cde	5.41	defg	0.6	bcd	10	c
BRAS_2096	14.17	de	85.31	cd	1.15	g	5.83	ab	0.62	bcd	10.1	c

Caracterización nutricional básica de Brassicas de alto valor añadido

BRAS_2072	13.79	ef	86.21	bc	1.15	g	4.86	j	0.59	def	7.2	h
BRAS_0172	13.21	fg	86.78	ab	1.04	h	6.06	a	0.41	j	8.4	f
BRAS_2039	12.95	g	87.04	a	1.32	bcd	5.17	ghi	0.47	i	8.1	fg
BRAS_0105	12.81	g	87.18	a	1.2	efg	6.11	a	0.36	k	8	g

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.3 Tipo BIMI®

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Bimi- se observa que solo existen diferencias significativas para la variable pH ($p \leq 0,05$) (Tabla 20).

Tabla 20. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –BIMI-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
BIMI	0.6116	0.6116	0.3232	0.01053 *	0.6023	0.09547

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' $<0,001$, '**' $<0,01$, '*' $<0,05$.

Debido a que solo había 2 genotipos, se usa el estadístico T-Student, que genera 2 grupos en la variable pH. Brokaly Apollo F1 (BRAS_2062) tiene pH de 5.06 y Chou Broccoli F1 Sticolli, pH de 4.91.

Tabla 21. Prueba T-Student de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Bimi-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
BRAS_2051	14.53 a	85.46 a	1.03 a	4.91 b	0.69 a	8.8 a
BRAS_2062	13.38 a	86.62 a	1.01 a	5.06 a	0.69 a	8.5 a

Los valores corresponden al promedio. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.4 Coliflor

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Coliflor- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros químicos (Tabla 22).

Tabla 22. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Coliflor-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Coliflor	7.319e-07 ***	7.319e-07 ***	5.686e-05 ***	1.361e-08 ***	1.365e-08 ***	2.913e-08 ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' $<0,001$, '**' $<0,01$, '*' $<0,05$.

Observando la **Tabla 23**, el valor más elevado de materia seca es de 12.41 g de materia seca en 100 g de Bróquil Morat (BRAS_PL2). El grupo “e” recoge a los 2 genotipos con menor contenido de materia seca, Bróquil de desembre y Chou-fleur F1 Cheddar (BRAS_0057 y BRAS_2056) tienen 9.68 y 9.55 g de materia seca en 100 g de producto.

BRAS_PL2 también tiene el mayor valor de cenizas, 1.07 g en 100 g de producto, y, a su vez posee el mayor contenido de sólidos solubles (8.4 °Brix). Los demás genotipos no se diferencian entre ellos en esos parámetros. La verdura menos ácida de este tipo varietal es Chou-fleur F1 Cheddar (BRAS_2056) con una acidez titulable de 0.28 g de ácido cítrico en 100 g de producto.

Ninguno de los valores de los diferentes parámetros químicos se asemeja en los presentados por Furlaneto et al., (2017) en el apartado **1.6 Composición nutricional**.

Tabla 23. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Coliflor–.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix						
BRAS_PL2	12.41	a	87.58	e	1.07	a	6.09	a	0.36	c	8.4	a
BRAS_2119	11.14	b	88.86	d	0.8	c	5.68	b	0.34	c	8	b
BRAS_0062	11	bc	89	cd	0.96	b	5.39	d	0.46	b	6.2	d
BRAS_2118	10.64	bcd	89.35	bcd	0.82	c	4.76	e	0.49	b	6.5	cd
BRAS_2058	10.57	cd	89.43	bc	0.87	bc	4.82	e	0.58	a	6.2	d
BRAS_2115	10.29	d	89.71	b	0.95	b	5.53	cd	0.37	c	6.8	c
BRAS_0057	9.68	e	90.32	a	0.93	b	5.63	bc	0.35	c	6.7	c
BRAS_2056	9.55	e	90.45	a	0.87	bc	5.41	d	0.28	d	6.3	d

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.5 Romanesco

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Romanesco– se observa que solo existen diferencias significativas para la variable pH ($p \leq 0.05$) (**Tabla 24**).

Debido a que solo había un genotipo de romanesco no se puede hacer el Análisis de la Mínima Diferencia Significativa (LSD) ni prueba T-Student.

Tabla 24. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Romanesco–, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Romanesco	0.06116	0.06116	0.3232	0.01053 *	0.6023	0.09547

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' < 0,001, '**' < 0,01, '*' < 0,05.

4.2.6 Col

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Col- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros químicos (Tabla 22).

Tabla 25. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Col-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	° Brix
Col	0.000428 ***	0.000428 ***	0.0002041 ***	0.00416 **	8.163e-06 ***	0.00306 **

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' < 0,001, '**' < 0,01, '*' < 0,05.

El porcentaje de agua se divide en 3 grupos, donde 2 variedades de Col Paperina (BRAS_PL3 y BRAS_PL4) tiene los valores más elevados de este parámetro con 93.7%. Asimismo, otra subvariedad de Col Paperina (BRAS_0065) tiene el valor más bajo con 90.3 g de agua en 100 g de producto. Tanto materia seca, cenizas y pH se reagrupan en 3 categorías o grupos. (Tabla 26).

En la variable de acidez titulable, el estadístico LSD agrupa a los 4 genotipos en 4 grupos distintos. Por otra parte, los °Brix se agrupan en 2 grupos, donde BRAS_PL3 es quien posee menor cantidad de sólidos solubles con 5.1 °Brix.

BRAS_0065 tiene un valor de acidez titulable (0.27 g de ácido cítrico en 100 g de producto) parecido a los que se exponen en *Una Fermentación Láctica Controlada De Dos Pasos De Cabiblas Para Mejorar Las Calidades Químicas Y Microbiológicas* (Jagannath et al., 2012) (apartado 1.6 Composición nutricional) siendo estos valores de 0.3 g de ácido cítrico en 100 g de producto.

Tabla 26. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Col-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
BRAS_0065	9.7 a	90.3 c	0.96 a	5.46 bc	0.27 a	6.1 a
BRAS_PL1	7.52 b	92.48 b	0.68 b	6.05 a	0.15 c	6 a
BRAS_PL4	6.3 c	93.7 a	0.57 c	5.73 ab	0.14 d	6.1 a
BRAS_PL3	6.27 c	93.73 a	0.55 c	5.2 c	0.2 b	5.1 b

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.7 Kale

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Kale- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros químicos (**Tabla 27**).

Tabla 27. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Kale-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Kale	7.4e-05 ***	7.4e-05 ***	2.619e-08 ***	4.577e-06 ***	2.37e-08***	7.872e-10 ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' $<0,001$, '**' $<0,01$, '*' $<0,05$

Mirando el contenido de materia seca, el genotipo BRAS_2137 conocido como Kale TZ 6379 F1 es el que posee un mayor porcentaje (18.96 g de materia seca/ 100 g de producto). En este parámetro los genotipos están poco diferenciados entre ellos, tal y como se refleja en cómo se han formado los grupos. El menor valor de materia seca se corresponde a Kale TZB 0277 (BRAS_2093) con un 14.56% (**Tabla 28**). Este mismo genotipo es el que tiene la menor cantidad de cenizas, siendo su valor de 2.47 g de cenizas en 100 g de producto.

En lo referente al pH, ha habido un genotipo claramente diferenciado. Kale TZ 6382 F1 (BRAS_2140) es la hortaliza menos ácida de este grupo varietal con un índice de pH 5.69. Este tipo de kale de hojas rizadas tiene los mismos valores de contenido de sólidos solubles presentados en el apartado **1.6 Composición nutricional, Propiedades Físicoquímicas Y Fitoquímicas Dedos Fenotipos De Galega Kale** correspondiente a 11.5 °Brix; para las kales de hojas lisas el contenido de sólidos solubles debe ser de 13 °Brix (Armesto et al., 2015). La variedad Kale TZ 6379 F1, es una kale de hojas lisas cuyo contenido de sólidos solubles es de 13.3 °Brix.

Chou Frise Scarlet (BRAS_2113) posee la mayor concentración de ácido cítrico con un valor de 0.71 g de ácido cítrico en 100 g de producto, por tanto, es la verdura más ácida de la variedad de kale. Ninguno de los valores hallados de acidez titulable de este tipo varietal corresponde a los presentados en el apartado **1.6 Composición nutricional**.

Tabla 28. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Kale-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix						
BRAS_2137	18.96	a	81.04	d	1.54	d	5.42	bc	0.46	d	13.3	a
BRAS_2140	17.51	ab	82.49	cd	1.61	d	5.69	a	0.54	b	11.5	b
BRAS_2131	17.37	b	82.63	c	2.25	b	5.6	ab	0.51	c	8.3	f
BRAS_2113	16.97	bc	83.03	bc	1.95	c	5.13	d	0.71	a	9.9	e
BRAS_2091	16.96	bc	83.03	bc	2.23	b	5.02	d	0.52	bc	11	c
BRAS_2139	16.53	bc	83.46	bc	1.5	d	5.33	c	0.51	c	10.3	d
BRAS_2094	15.69	cd	84.31	ab	1.83	c	4.97	d	0.54	b	7.8	g
BRAS_2093	14.56	d	85.44	a	2.47	a	5.49	bc	0.42	e	8.3	f

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.8 Kalette®

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Kalette®- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para el parámetro químico de acidez titulable (Tabla 29).

Tabla 29. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Kalette®, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Kalette	0.4397	0.4397	0.1269	0.3335	0.0005737 ***	0.1925

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' $<0,001$, '**' $<0,01$, '*' $<0,05$.

En lo referente a acidez titulable, Snowdrop o Flower Sprout TZ 0101 (BRAS_2111) es menos ácida que Flower Sprout Autumn Rose TZ 0479 F1 (BRAS_2089), 0.5 g de ácido cítrico en 100 g de producto y 0.68 g de ácido cítrico en 100 g de producto respectivamente (Tabla 30).

Para la variable sólidos solubles, debido a que las kalettes® son híbridos naturales entre las kales rizadas y las coles de Bruselas sus valores son parecidos a los presentados por Armesto et al, (2015) (1.6 Composición nutricional), pues los 3 genotipos de este tipo varietal tienen valores de 11 °Brix.

Tabla 30. Comparación de medias de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Kalette®-.

Genotipo	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
BRAS_2111	17.73 a	82.26 a	1.47 a	5.79 a	0.5 b	11.2 a
BRAS_2088	17.27 a	82.72 a	1.57 a	5.63 a	0.66 a	11 a
BRAS_2089	17.1 a	82.89 a	1.51 a	5.95 a	0.68 a	11.1 a

Los valores corresponden al promedio. LSD: Mínima Diferencia Significativa. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.2.9 Col de Bruselas

En el test ANOVA para los genotipos englobados en el tipo varietal –Col Bruselas- se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros químicos excepto para pH (Tabla 31).

Tabla 31. Significación del test ANOVA de los parámetros químicos determinados en los materiales de estudio según el tipo varietal –Col Bruselas-, donde MS y AT corresponden a materia seca y acidez titulable.

Factor	MS	Agua	Cenizas	pH	AT	°Brix
Col Bruselas	0.0003366***	0.0003366***	0.005309 **	0.1045	0.01216 *	$< 2.2e-16$ ***

Los valores corresponden al p-valor del análisis. Sig ANOVA: Nivel de significación del ANOVA donde '***' $<0,001$, '**' $<0,01$, '*' $<0,05$.

Debido a que solo había 2 genotipos, se ha realizado una prueba T-Student para las variables.

Tanto el contenido de agua como el porcentaje de cenizas quedan dentro de los valores presentados en la **Tabla 3** del apartado **1.6 Composición nutricional**. Según Cartea et al. (2011), el contenido de agua de las coles es de 86 % y poseen un 1.31 g de cenizas cada 100 g de col de Bruselas.

Tabla 32. Prueba T-Student de los parámetros químicos significativamente diferentes para el tipo varietal –Col Bruselas–.

Genotipo	MS		Agua		Cenizas		pH		AT		°Brix	
BRAS_2128	16.55	a	83.45	b	1.36	a	5.9	a	0.68	a	12	a
BRAS_2127	13.68	b	86.32	a	1.14	b	5.53	a	0.59	b	9	b

Los valores corresponden al promedio. Los valores de una columna seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua), materia seca (g materia seca/100 g de puré), cenizas (g cenizas/100 g materia seca), Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g de puré).

4.3 Genotipos candidatos para pasar a la siguiente fase del Proyecto BRAAVA

Después de realizar tanto el análisis químico como el análisis estadístico de los resultados, se han seleccionado los siguientes genotipos como candidatos a pasar al tercer año del Proyecto BRAAVA (Tabla 33). Esta selección se ha hecho desde un punto de vista nutricional, basándose en los parámetros químicos de mayor relevancia nutricional: sólidos solubles y el porcentaje de cenizas, que se nombraron en el apartado de **1.7 Mejora de la calidad**. El primero representa aproximadamente el azúcar presente en la parte analizada de la planta y el otro la materia mineral. Como se puede ver, las kales son el tipo varietal que presentan altos valores de grados Brix y de cenizas, seguido de kalettes® y brócolis ramificados.

Tabla 33. Genotipos candidatos para la fase 3 del Proyecto BRAAVA.

Genotipo	Tipo varietal	Cenizas	°Brix
BRAS_2093	Kale	2.45	8.3
BRAS_2131	Kale	2.25	8.3
BRAS_2091	Kale	2.23	11
BRAS_2113	Kale	1.95	9.9
BRAS_2094	Kale	1.83	7.8
BRAS_2140	Kale	1.61	11.5
BRAS_2088	Kalette	1.57	11
BRAS_2047	Brócoli ramificado	1.57	9.4
BRAS_2137	Kale	1.54	13.3
BRAS_2089	Kalette	1.51	11.1
BRAS_2139	Kale	1.50	10.3
BRAS_2111	Kalette	1.47	11.2
BRAS_0094	Brócoli ramificado	1.40	9.9
BRAS_2128	Col Bruselas	1.36	12
BRAS_2038	Brócoli ramificado	1.34	10.5
BRAS_2039	Brócoli ramificado	1.32	8.1
BRAS_2080	Brócoli ramificado	1.31	9.6
BRAS_2085	Brócoli ramificado	1.27	10.1
BRAS_0087	Brócoli ramificado	1.27	10
BRAS_2061	Brócoli	1.26	9
BRAS_2086	Brócoli ramificado	1.25	9.5
BRAS_2040	Brócoli ramificado	1.24	11.1
BRAS_0092	Romanesco	1.22	7.7
BRAS_0101	Brócoli	1.22	8.3
BRAS_2065	Brócoli ramificado	1.21	10.6
BRAS_0105	Brócoli ramificado	1.20	8
BRAS_2074	Brócoli ramificado	1.16	9.5
BRAS_2096	Brócoli ramificado	1.15	10.1
BRAS_2127	Col Bruselas	1.15	9
BRAS_2130	Brócoli	0.97	9.3

Unidades: °Brix (g sacarosa/100 g de agua y cenizas (g cenizas/100 g materia seca)

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones respecto a los objetivos planteados son:

- La caracterización nutricional de 61 genotipos de distintas variedades de *Brassica oleracea* ha permitido confirmar la variación entre tipo varietal tipo varietal y entre el genotipo dentro del tipo varietal, pues realizando el test ANOVA, todas las variables presentadas han sido significativas.
- En el caso del fenotipado de la composición química por tipo varietal, en todos los tipos varietales los parámetros químicos (contenido de agua, materia seca, porcentaje de cenizas, pH, acidez titulable y contenido de sólidos) han sido significativos exceptuando para el tipo varietal –Bimi- y el tipo varietal –Romanesco- en sendos casos la única variable significativa ha sido el pH.
- Así mismo, usando de guía los resultados obtenidos en el Análisis de Componentes Principales, en los parámetros químicos la cantidad de agua de la muestra no altera el pH, y viceversa, porque no están correlacionados. No ocurre lo mismo con el agua y los °Brix, cenizas y materia seca, cuanto más elevada es la cantidad de agua de la variedad, menos cantidad de sólidos solubles (°Brix), cenizas y materia seca se halla, porque son valores correlacionados negativamente. Esto es razonable, pues a mayor porcentaje de agua, menos porcentaje de esos elementos hay en la muestra.
- En el Análisis de Componentes Principales para los parámetros de color, ha habido un genotipo que presentaba una mayor luminosidad (L*).
- En la combinación de parámetros químicos y parámetros de color, un mayor valor de acidez titulable hace que la muestra sea más azulada y oscura, mientras que una acidez baja hace la muestra más clara y amarilla. Debido a que se incluyen los colores como variables, la relación ácido-agua-pH no es tan observable, de ahí que se influyan menos entre sí.
- Las revisiones bibliográficas han permitido tener una guía del valor de los distintos parámetros químicos, el hecho de que algunos resultados propuestos de este trabajo no concuerden con aquellos encontrados en las diferentes publicaciones puede deberse a el tratamiento de congelación que sufrieron las muestras en la fase de preparación del material vegetal, así como otros factores ambientales o errores en la metodología de los análisis.
- Cultivos de kales y kalettes® son la mejor opción como plantas elegidas para pasar a la siguiente fase del Proyecto BRAAVA, pues son cultivos de producción elevada, además de ser los genotipos que tienen una mayor cantidad de sólidos solubles y materia mineral, características muy importantes en la mejora de calidad de las *Brassicas* que le da un valor añadido.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A. de Haro-Bailón, M. del Río, M.E Cartea, A.O., 2006. Mejora de la calidad de especies de Brassica, en: G. Llacer, J. M. Díez, J. M. Carrillo, M.L.B. (Ed.), Mejora genética de la calidad en plantas. pp. 415-448.
- Akdaş, Z.Z., Bakkalbaşı, E., 2017. Influence of different cooking methods on color, bioactive compounds, and antioxidant activity of kale. *Int. J. Food Prop.* <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1188308>
- Armesto, J., Carballo, J., Martínez, S., 2015. Physicochemical and phytochemical properties of two phenotypes of Galega kale (brassica oleraceal. var. acephala cv. Galega). *J. Food Biochem.* 39, 439-448. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12151>
- Artés, F., Vallejo, F., Martínez, J.A., 2001. Quality of broccoli as influenced by film wrapping during shipment. *Eur. Food Res. Technol.* 213, 480-483. <https://doi.org/10.1007/s002170100390>
- Bachiega, P., Salgado, J.M., De Carvalho, J.E., Ruiz, A.L.T.G., Schwarz, K., Tezotto, T., Morzelle, M.C., 2016. Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea Italica*) biofortified with selenium. *Food Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.024>
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P., 2009. Food chemistry, *Food Chemistry.* <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Cartea, M.E., Lema, M., Francisco, M., Velasco, P., 2011. Basic information on vegetable Brassica crops. *Genet. genomics Breed. Veg. Brassicas* 1-33. <https://doi.org/doi:10.1201/b10880-2\r10.1201/b10880-2>
- Casals, J., Fundació, M., Agustí, M., 2012. Estudis sobre varietats tradicionals catalanes: la col brotonera (*Brassica oleracea* L.).
- Dixon, G.R., 2007. Vegetable Brassica and related Crucifers. *Crop Prod. Sci. Hortic.*
- Fernández-León, M.F., Fernández-León, A.M., Lozano, M., Ayuso, M.C., González-Gómez, D., 2012. Identification, quantification and comparison of the principal bioactive compounds and external quality parameters of two broccoli cultivars. *J. Funct. Foods.* <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.005>
- Ferreira, T.A., Silva, C. O. da; Pascoal, G.B., 2014. Análise Físico-Química Em Repolho Branco (Brassica Acondicionamento Sob Refrigeração Physical and Chemical Analysis in Minimally Processed White Cabbage (Brassica Oleracea) During the. *Rev. Científica Linkania* 1, 59-72.
- Furlaneto, K.A., De Carvalho Mariano-Nasser, F.A., Ramos, J.A., Lundgren, G.A., Nuvolari, C.M., De Souza Lima, P.F.F., Nasser, M.D., Vieites, R.L., 2017. Modified atmosphere in minimally processed cauliflower conservation and quality. *Semin. Agrar.* 38, 3549-3561. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n6p3549>
- Gladis, T., Hammer, K., 2001. Nomenclatural notes on the Brassica oleracea-group. *Genet. Resour. Crop Evol.* <https://doi.org/10.1023/A:1011201118844>
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M.G., Vincieri, F.F., Romani, A., 2006. Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chem.* 99, 464-469.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.057>

Jagannath, A., Raju, P.S., Bawa, A.S., 2012. A two-step controlled lactic fermentation of cabbage for improved chemical and microbiological qualities. *J. Food Qual.* 35, 13-20. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00427.x>

Kim, S.Y., 2012. Comparison of nutritional compositions and antioxidant activities of building blocks in shinseoncho and kale green vegetable juices. *Prev. Nutr. Food Sci.* 17, 269-273. <https://doi.org/10.3746/pnf.2012.17.4.269>

Konica Minolta, 2014. Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B* [WWW Document]. URL <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/> (accedido 8.13.18).

Liu, M. Sen, Ko, M.H., Li, H.C., Tsai, S.J., Lai, Y.M., Chang, Y.M., Wu, M.T., Chen, L.F.O., 2014. Compositional and proteomic analyses of genetically modified broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) harboring an agrobacterial gene. *Int. J. Mol. Sci.* 15, 15188-15209. <https://doi.org/10.3390/ijms150915188>

Martínez-Hernández, G.B., Formica, A.C., Falagán, N., Artés, F., Artés-Hernández, F., Gómez, P.A., Navarro-Rico, J., 2013. Extending the shelf life of the new Bimi® Broccoli by controlled atmosphere storage, en: *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.124>

Martínez, S., Olmos, I., Carballo, J., Franco, I., 2010. Quality parameters of *Brassica* spp. Grown in northwest Spain. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45, 776-783. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02198.x>

Moreno, D.A., Carvajal, M., López-Berenguer, C., García-Viguera, C., 2006. Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *J. Pharm. Biomed. Anal.* <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.003>

Ordiales, E., Iglesias, D.J., Alarcón, M.V., Zajara, L., Gil, J., Gutiérrez, J.I., Salguero, J., 2017. Characteristics Defining Broccoli Cultivars from Different Seed Producers. *Int. J. Agron.* <https://doi.org/10.1155/2017/8216390>

Sabir, F.K., 2012. Postharvest quality response of broccoli florets to combined application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging. *Agric. Food Sci.* 21, 421-429.

Song, K., Osborn, T., Williams, P., 1990. Brassica taxonomy based on nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Theor. Appl. Genet.* <https://doi.org/10.1007/BF00265606>

Soria, C., Maroto, J.V., 2014. Bróculis, coliflores y coles. *Cultiv. hortícolas al aire Libr. Serie Agri*, 371-434.

Spooner, D.M., Hetterscheid, W.L.A., Van den Berg, R.G., Brandenburg, W.A., 2003. Plant Nomenclature and Taxonomy: An Horticultural and Agronomic Perspective, *Horticultural Reviews*. <https://doi.org/10.1002/9780470650851.ch1>

Valette, L., Fernandez, X., Poulain, S., Loiseau, A.M., Lizzani-Cuvelier, L., Leveil, R., Restier, L., 2003. Volatile constituents from Romanesco cauliflower. *Food Chem.* 80, 353-358. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00272-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00272-8)

Yang, Y., Zhang, X., 2012. Extraction, identification and comparison of glucosinolates profiles in the seeds of broccolini, broccoli and chinese broccoli. *Solvent Extr. Res. Dev.* <https://doi.org/10.15261/serdj.19.153>

Zhang, D., Hamazu, Y., 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. Food Chem. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.065>

ANEJOS

A. Preparación de las muestras

Material utilizado

- Contenedores de nitrógeno líquido
- Nitrógeno líquido
- Guantes térmicos aislantes
- Cucharón
- Cuchara
- Pinzas
- Papel de filtro
- Cajas EPS (poliestireno expandido)
- Bolsas de congelación
- Hielo
- Cuchillos
- Molinillo AICOK
- Tablas para cortar

Procedimiento

Lavar el material vegetal para eliminar polvo y tierra. Seguidamente se dejan escurrir en papel de filtro. Una vez secas, se cortan en trozos de 1x1 cm aproximadamente. Al mismo tiempo, se etiquetan las bolsas de plástico aptas para la congelación con nitrógeno líquido con el código de cada genotipo y se rasgan con un cuchillo para facilitar la entrada del nitrógeno líquido.

Se pesan 250 g de cada genotipo, se introducen en las bolsas y se sumergen en los contenedores. Se dejan unos minutos para que se congelen las muestras. Una vez congeladas, sacar las bolsas con la ayuda de pinzas, vaciar la muestra en el molinillo y triturar. Es importante echar un poco de nitrógeno líquido en el vaso del molinillo AICOK (no demasiado para evitar congelar el motor), antes de llenar con la muestra, y en la tapa, antes de empezar a triturar. Cuando no se use la tapa, mantenerla en hielo en la caja EPS.



Figura A. A la derecha molinillo, en la izquierda, brócoli pulverizado. Fuente: Elaboración propia

Una vez pulverizada la muestra, se guardará en botes de unos 30g, previamente rotulados con el genotipo y la fecha de la cosecha. A medida que se llenan los botes con muestra, se mantienen en la caja EPS. Por último, los botes se conservarán a -20°C en una cámara de congelación hasta la realización de los análisis químicos.

B. Análisis químico

B. 1 Determinación de materia seca y contenido de agua

Referencia: **Método 930.15 AOAC (2005)**

Material

- Balanza de precisión
- Bandejas de aluminio
- Desecador
- Estufa
- Papel de aluminio
- Molinillo Minimoka

Procedimiento

Es necesario dejar las bandejas 24h en la estufa antes de ser usadas. Colocar papel de aluminio que cubra el fondo de la bandeja y tarar. Ese peso corresponderá al peso inicial de la bandeja (P1). Seguidamente se pesan 30g de puré de muestra previamente descongelada y se extiende con la ayuda de una espátula por toda la superficie. Se apunta el peso exacto del puré (P2). Las bandejas con muestras se colocan en la estufa a 60°C por 72h. Una vez finalizado el tiempo, medir el peso final de la bandeja con la muestra seca (P3).

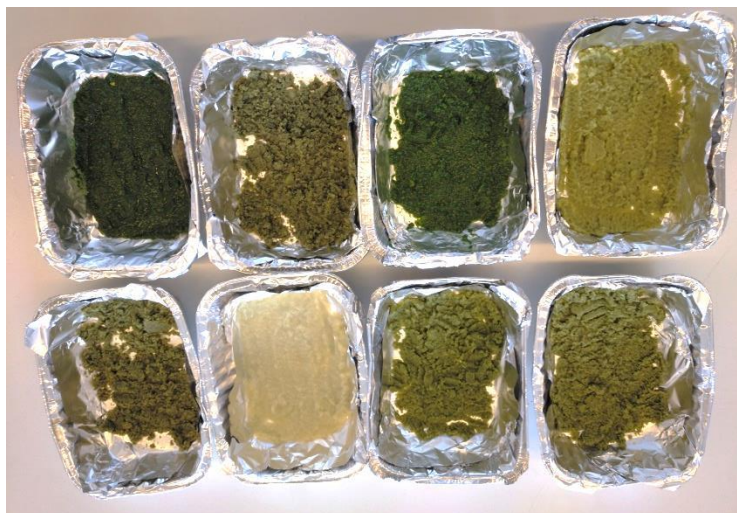


Figura B. Bandejas de plásticos de distinto tipo varietal. Fuente: Propia

Para saber el contenido de materia seca y el porcentaje de agua, se usan las siguientes fórmulas.

$$\% MS = \frac{P3-P1}{P2} * 100$$

$$\% Agua = 100 - \% MS$$

Una vez se han pesado las muestras, se procede a la obtención de la harina del puré deshidratado usando un molinillo. Esta harina, la muestra seca y molturada, se guardó en bolsas de plásticos etiquetadas con el código correspondiente de cada muestra y se dejaron en la nevera. Se utilizaron para la posterior determinación de cenizas.

B. 2 Determinación de materia mineral o cenizas

Referencia: **Método 942.05 AOAC (2005)**

Materiales

- Crisoles de porcelana
- Balanza de precisión
- Baño de arena
- Desecador
- Mufla
- Pinzas

Procedimiento

Lavar los crisoles, secarlos y precalcinarlos durante 30 minutos en la mufla a 450°C. Ponerlos en el desecador para que no cojan humedad y se atemperen.

Anotar el peso de los crisoles (P4) y tararlos. Pesar 1g de muestra seca previamente molturada (P5) en los crisoles. Calcinar los crisoles de porcelana en el baño de arena hasta que dejen de haber humo saliendo de ellos. Seguidamente, meter los crisoles a la mufla durante 4h a una temperatura de 450°C.



Figura C. Mufla con crisoles calcinados. Fuente: Propia.

Después de las 4h, se sacan los crisoles de la mufla con ayuda de pinzas y se dejan 5 minutos encima de una superficie cerámica y se pasan al desecador para que queden a temperatura ambiente. Por último, pesar los crisoles para determinar la materia mineral (P6).

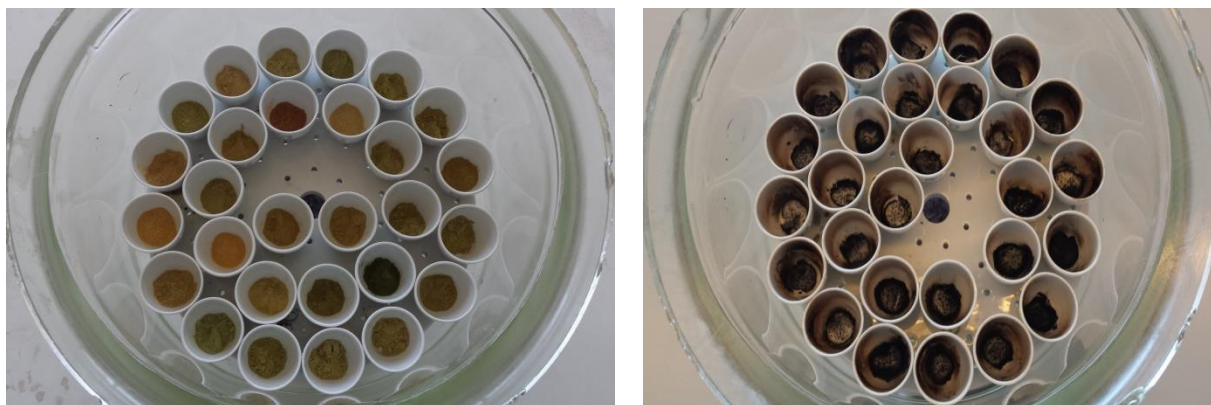


Figura D. Crisoles antes de ser calcinados, a la izquierda. Crisoles con materia mineral, a la derecha. Fuente: Propia.

Se calcula que:

$$\% \text{ MM} = \frac{P6-P4}{P5-P4} * 100$$

B. 3 Determinación pH

Referencia: Método 981.12 AOAC (2005)

Materiales

- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Balanza electrónica de precisión, Scaltec modelo SBA 31.
- Electrodo de pH, Crison modelo 52-02.
- Material de vidrio de uso en laboratorio
- Medidor automático de pH, Crison modelo GLP 21.
- Espátulas
- Disolución tampón pH 7.00 a 25 oC, Crison Cód. 23-111-02.
- Disolución tampón pH 4.01 a 25 oC, Crison Cód. 23-112-02.

Procedimiento

Previamente se calibra el medidor de pH con dos soluciones tampón de pH 7.00 y pH 4.01. A continuación, se pesan aproximadamente 10 g de muestra, previamente descongelada, en un vaso de precipitados y se mezclan con 50 mL de agua destilada hasta obtener una disolución uniforme. Posteriormente, se sumergen los electrodos del medidor de pH en la misma, se deja estabilizar el pH y se realiza la lectura.



Figura E. Determinación del pH y la acidez titulable de una muestra de kale. Fuente: Propia

B. 4 Determinación de la acidez titulable

Referencia: Método 942.15 AOAC (2005)

Material

- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Balanza electrónica de precisión, Scaltec modelo SBA 31.
- Bureta de 10 mL, Pyrex.
- Pipeta de 10 mL
- Electrodo de pH, Crison modelo 52-02.
- Material de vidrio de uso en laboratorio.
- pHmetro, Crison modelo GLP 21.

Reactivos

- Hidróxido de sodio, Panreac Cód. 141687.1214.
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N.
- Biftalato de potasio 0.1N
- Agua PACS
- Fenolftaleína

Procedimiento

Se pesan aproximadamente 10 g de muestra, previamente descongelada, en un vaso de precipitados y se mezclan con unos 50 ml de agua destilada hasta obtener una disolución uniforme. Se determina el pH de esta solución y, posteriormente, se titula con una bureta que contenga hidróxido de sodio 0.1 N, hasta llegar a pH 8.1. Se anota el volumen consumido. Después de cada adición de NaOH se ha de esperar a que la lectura del electrodo se estabilice.



Figura F. Diferentes valoraciones de muestras valoradas con NaOH. De izquierda a derecha: brócoli, col paperina, coliflor morada, kale y coliflor.

Valoración de NaOH:

Cada vez que se usa la disolución de NaOH 0.1M es necesario valorarla con Biftalato potásico 0.1N para obtener el factor de corrección de la concentración de la sosa.

Con la ayuda de una pipeta, se cogen 10 ml de biftalato potásico 0.1N y se traspasan a un Erlenmeyer. Se echan unas gotas de fenolftaleína que servirá como indicador del viraje de la reacción. La neutralización del biftalato potásico por la disolución de NaOH se producirá cuando vire de incoloro a rosa.

Para determinar el factor de corrección, usaremos la siguiente fórmula:

$$V_{\text{bif}} N_{\text{bif}} f_{\text{bif}} = V_{\text{NaOH}} N_{\text{NaOH}} f_{\text{NaOH}}$$

$$f_{\text{NaOH}} = \frac{V_{\text{bif}} N_{\text{bif}} f_{\text{bif}}}{V_{\text{NaOH}} N_{\text{NaOH}}}$$

Dónde:

- **V_{bif}**: volumen de biftalato potásico a valorar (10 ml).
- **N_{bif}**: concentración del biftalato potásico 0.1N
- **f_{bif}**: factor de corrección de la concentración del biftalato potásico (peso real/ peso calculado).
- **V_{NaOH}**: volumen de hidróxido de sodio gastado.
- **N_{NaOH}**: concentración teórica de la disolución de hidróxido de sodio.

Cálculo de la acidez titulable:

Considerando que, en el caso de *Brassicas* el ácido orgánico mayoritario es el ácido cítrico, se da la siguiente reacción.



Se expresará la acidez titulable en mg del ácido cítrico presente en 100 gramos de producto fresco.

$$TA = \frac{V \text{ mL NaOH}}{m \text{ g muestra}} * \frac{c * f_{\text{NaOH}}}{1000 \text{ mL}} * \frac{1 \text{ mol ácido cítrico}}{n \text{ mol NaOH}} * \frac{M \text{ g}}{1 \text{ mol ác.cítrico}} * 100 \text{ g producto} = \frac{\text{g ácido cítrico}}{\text{g ácido cítrico} / 100 \text{ g muestra}}$$

- V: volumen de NaOH gastado

- m: gramos de muestra (10 g aprox)
- c: concentración teórica de NaOH
- fNaOH: factor de corrección
- M: peso molecular del ácido cítrico ($192.124 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$)
- n: número de protones (3H^+)

Fórmula de cálculo:

$$TA = \frac{V \text{ mL NaOH}}{m \text{ g muestra}} * 0.612 = g \text{ ácido cítrico} / 100 \text{ g muestra}$$

B. 5 Determinación sólidos solubles

Referencia: **Método AOAC 932.12 (2005)**

Material

- Refractómetro
- Centrifugadora
- Tubos de centrifuga
- Balanza de precisión
- Espátulas

Procedimiento

Se pesan 10 g de muestra y se ponen en el tubo de centrifuga. Todos los tubos deben pesar lo mismo para que la centrifuga no se desequilibre. Se meten los tubos a la centrifugadora a una temperatura de 4°C, durante 15 minutos a 9500 rpm.

Se sacan los tubos de la centrifuga, se coge una gota que se coloca en la placa del refractómetro y se apuntan los °Brix de la muestra. Cada vez que se use el refractómetro se debe limpiar la pantalla con agua destilada.



Figura G. Refractómetro, a la izquierda. Ejemplo de medición de °Brix, a la derecha. Fuente: propia.

B.6 Determinación de color

Materiales

- Colorímetro Konica Minolta CR-400
- Plato de calibración CR-A43
- Cuchillos

Procedimiento

Previamente a la medición del color, se realiza el calibrado del aparato con ayuda del plato de calibración CR-A43. Formando un triángulo con el Tubo de Proyección de luz CR-A338 en la superficie de las muestras, se obtienen en el cabezal los parámetros: L^* , a^* y b^* , donde L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas. La luminosidad tiene un rango de 0 a 100, a^* son las coordenadas cromáticas de rojo/verde (si el valor es positivo nos indica rojo y si es negativo, verde) y b^* son las coordenadas cromáticas de azul/amarillo (los valores positivos indican amarillos y los negativos, azul) (Konica Minolta, 2014).



Figura H. Calibración colorímetro Konica Minolta. Fuente: propia.