

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

Estudio fitoquímico, mineral y organoléptico de una colección de bróquil (*Brassica oleracea* var. *italica*) de la provincia de Huesca”

Phytochemical, mineral content and organoleptic study of a collection of bróquil (*Brassica oleracea* var. *italica*) from the province of Huesca.

Autor/es

Sonia Laguna Salinero

Director/es

Celia Montaner Otín

Raquel Zufiaurre Galarza

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis directores Celia Montaner Otín y Raquel Zufiaurre Galarza por su tiempo, ayuda y dedicación a lo largo de este proyecto.

Al personal del CPIFP Montearagón y al CPIFP San Lorenzo por su ayuda y colaboración.

A José Antonio Manso, Begoña Portaña, Asún Callizo y Belén Aguado por su ayuda en el laboratorio.

A mis padres y amigos por su apoyo y ánimo durante la realización de este proyecto.

Este trabajo ha sido financiado con la beca de investigación Félix de Azara, con la que ha sido posible la realización de este trabajo.

Gracias.

CONTENIDO

A. RESUMEN	9
B. ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes del trabajo	11
1.2. El género <i>Brassica</i>	12
1.3. La especie <i>Brassica oleracea</i>	14
1.4. El bróquil de Huesca.....	18
1.5. Importancia de las variedades tradicionales	19
1.6. Parámetros de calidad	20
1.6.1. Parámetros de calidad funcional	21
1.6.1.1. Compuestos fenólicos	21
1.6.1.2. Flavonoides	23
1.6.1.3. Glucosinolatos.....	24
1.6.1.4. Vitamina C	26
1.6.1.5. Compuestos antioxidantes.....	27
1.6.2. Parámetros de calidad nutricional mineral	27
1.6.2.1. Macroelementos	29
Fósforo (P)	29
Potasio (K)	29
Azufre (S).....	30
Magnesio (Mg)	30
Calcio (Ca).....	30
Sodio (Na)	31
1.6.2.2. Microelementos	31
Hierro (Fe)	31
Manganeso (Mn)	31
Zinc (Zn).....	32
1.7. Evaluación organoléptica y panel de cata.....	32
1.8. Objetivos.....	33
2. MATERIAL Y MÉTODOS	34
2.1. Material vegetal y diseño experimental	34
2.1.1. Material vegetal.....	34
2.1.2. Diseño experimental.....	34
2.1.3. Muestreo	35
2.2. Preparación del material vegetal para análisis.	35
2.3. Metodología analítica	36
2.3.1. Método de extracción para la determinación de compuestos fitoquímicos y actividad antioxidante.	36
2.3.2. Determinación del contenido de fenoles totales	37
2.3.3. Determinación del contenido de flavonoides totales	37
2.3.4. Determinación de glucosinolatos totales	38
2.3.5. Determinación de la actividad antioxidante.....	39
2.3.6. Determinación del contenido de vitamina C	39
2.3.7. Determinación del contenido mineral (macro y microelementos)	41

2.3.7.1.	Determinación del contenido de azufre	42
2.3.7.2.	Determinación del contenido de fósforo	42
2.3.7.3.	Determinación del hierro, magnesio, potasio, calcio, manganeso, cinc y sodio.	42
2.4.	Evaluación organoléptica.	43
2.4.1.	Preparación y procesado de las muestras.	43
2.4.2.	Diseño del panel de cata.....	45
2.4.3.	Análisis de resultados	46
2.5.	Análisis estadístico	46
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
3.1.	Resultados y discusión de los compuestos fitoquímicos.....	48
3.1.1.	Actividad antioxidante.....	48
3.1.2.	Contenido de fenoles totales.....	49
3.1.3.	Determinación de flavonoides totales.....	49
3.1.4.	Determinación de glucosinolatos totales	50
3.1.5.	Contenido de vitamina C	51
3.1.6.	Discusión de compuestos fitoquímicos	53
3.2.	Resultados y discusión de contenido mineral.....	56
3.2.1.	Resultados de contenido mineral y elementos	56
3.2.1.1.	Macroelementos	61
3.2.1.2.	Microelementos	62
3.2.2.	Discusión del contenido mineral	63
3.3.	Resultados y discusión de la evaluación organoléptica	66
3.4.	Análisis de componentes principales.....	68
4.	CONCLUSIONES	72
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXO 1.	PARCELA DE CULTIVO DEL CPIFP MONTEARAGÓN.	80
ANEXO 3.	DISTINTAS PARTES APROVECHABLES PARA CONSUMO DE CADA ENTRADA.	
	81	
ANEXO 2.	MATERIAL DE LABORATORIO	82
ANEXO 4.	RECTAS DE CALIBRADO.	84
a.	Rectas de calibrado para los compuestos fitoquímicos y vitamina C.	84
b.	Rectas de calibrado para los elementos minerales.	84

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FILOGENIA RESUMIDA DE MÁXIMA VEROSIMILITUD DEL NÚCLEO <i>BRASSICACEAE</i> COMO RESULTADO DE LOS ÁRBOLES FILOGENÉTICOS DEL NÚCLEO <i>BRASSICACEAE</i> EN CUATRO ESTUDIOS REPRESENTADOS POR CUATRO CÍRCULOS QUE REPRESENTAN LA DEFINICIÓN DE CLADOS DE <i>BRASSICACEAE</i> . EL CÍRCULO MÁS INTERNO REPRESENTA LA DIVISIÓN DE RAMAS DE LIU ET AL. (2020). LOS TRES CÍRCULOS EXTERIORES INDICAN RESULTADOS FILOGENÓMICOS PREVIOS, REFERIDOS A BEILSTEIN EN 2006, FRANZKE EN 2011 Y HUANG EN 2015, Y NIKOLOV EN 2019, DE ADENTRO HACIA AFUERA RESPECTIVAMENTE. (LIU ET AL., 2020)	12
FIGURA 2. DIAGRAMA DEL TRIÁNGULO DE U QUE ILUSTRA LAS RELACIONES GENÉTICAS ENTRE SEIS ESPECIES DEL GÉNERO <i>BRASSICA</i> , COMO EL NABO (AA), LA MOSTAZA (BB), LA COL (CC), LA MOSTAZA INDIA (AABB), LA COLZA (AACC) Y LA COLZA ETÍOPE (BBCC). LOS CROMOSOMAS DE CADA UNO DE LOS GENOMAS A, B Y C ESTÁN REPRESENTADOS POR DIFERENTES COLORES. (PINTEREST, 2021).....	14
FIGURA 3. DOMESTICACIÓN DE <i>B. OLERACEAE</i> SEGÚN EL APROVECHAMIENTO DE DISTINTOS ÓRGANOS DE <i>B. OLERACEA</i> ANCESTRAL. (FERNÁNDEZ, 2012).....	15
FIGURA 4. GRUPOS DE CULTIVO Y VARIEDADES DE <i>B. OLERACEAE</i> L. (FERNÁNDEZ, 2012)	17
FIGURA 5. BRÓQUIL PELLADO (IZQUIERDA) Y BRÓQUIL VERDE (DERECHA).....	19
FIGURA 6. PRINCIPALES NUTRIENTES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN LAS BRÁSICAS (LÓPEZ ET AL., 2017)	20
FIGURA 7. DIFERENCIAS ESTRUCTURALES DE FLAVONOIDES Y ÁCIDOS FENÓLICOS (NO FLAVONOIDES). (WATSON, 2014)	22
FIGURA 8. ESTRUCTURA GENERAL DE LOS GLUCOSINOLATOS Y LOS GRUPOS EXISTENTES SEGÚN EL TIPO DE CADENA LATERAL R. MODIFICADA A PARTIR DE NUÑEZ ET AL., 2012.....	24
FIGURA 9. COMPUESTOS GENERADOS COMO RESULTADOS DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LOS GLUCOSINOLATOS. MODIFICADA A PARTIR DE NUÑEZ ET AL., 2012.....	25
FIGURA 10. ESTRUCTURA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO (IZQUIERDA) Y DEL ÁCIDO DEHIDROASCÓRBICO (DERECHA) (NÚÑEZ ET AL., 2012)	26
FIGURA 11. DISEÑO DE PLANTACIÓN DE LAS ENTRADAS DE BRÓQUIL.	35
FIGURA 12. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS EN MUESTRAS DE BRÓQUIL	37
FIGURA 13. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES.	37
FIGURA 14. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE FLAVONOIDES TOTALES.....	38
FIGURA 15. PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE GLUCOSINOLATOS TOTALES POR EL MÉTODO DEL PALADIO.....	38
FIGURA 16. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	39
FIGURA 17. PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y LA VITAMINA C TOTAL	40
FIGURA 18. PARTES COMESTIBLES UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL BRÓQUIL VERDE (IZQUIERDA) Y BRÓQUIL PELLADO (DERECHA).	44
FIGURA 19. BANDEJAS PREPARADAS PARA LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL BRÓQUIL VERDE Y DEL BRÓQUIL PELLADO, DONDE SE PUEDEN OBSERVAR LAS PARTES COMESTIBLES Y SUS PORCIONES PARA LLEVAR A CABO LA CATA.	44
FIGURA 20. CALDO RESERVADO DE LA COCCIÓN (IZQUIERDA) Y CALDO COLOCADO EN LOS VASITOS INDIVIDUALES (DERECHA) ...	45
FIGURA 21. MÓDELO TIPO DE LA FICHA DE CATA DISEÑADA PARA LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL BRÓQUIL.	45
FIGURA 22. CABINA DE CATA PREPARADA PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LAS ENTRADAS DE BRÓQUIL PELLADO.....	46

FIGURA 23. RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EXPRESADO COMO % DE INHIBICIÓN (%) ($\bar{X} \pm SD$) PARA LAS MUESTRAS DE BRÓCOLI Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. ($P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA.	48
FIGURA 24. CONTENIDO DE FENOLES TOTALES ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	49
FIGURA 25. CONTENIDO DE FLAVONOIDES TOTALES ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	50
FIGURA 26. CONTENIDO DE GLUCOSINOLATOS TOTALES ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	51
FIGURA 27. CONTENIDO DE VITAMINA C TOTAL ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS, COMO SUMA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y ÁCIDO DEHIDROASCÓRBICO PRESENTE EN LAS MISMAS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS (TUKEY B, $P \leq 0,001$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	52
FIGURA 28. CONTENIDO MINERAL ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS (TUKEY B, $P \leq 0,001$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	58
FIGURA 29. CONTENIDO DE FÓSFORO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	58
FIGURA 30. CONTENIDO DE POTASIO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	58
FIGURA 31. CONTENIDO DE AZUFRE ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	59
FIGURA 32. CONTENIDO DE MAGNESIO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	59
FIGURA 33. CONTENIDO DE CALCIO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	59
FIGURA 34. CONTENIDO DE SODIO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	60
FIGURA 35. CONTENIDO DE HIERRO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	60
FIGURA 36. CONTENIDO DE MANGANESO ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	60
FIGURA 37. CONTENIDO DE ZINC ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS EN CADA BARRA INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS. (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).	61
FIGURA 38. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LAS ENTRADAS DE BRÓQUIL PELLADO.....	67
FIGURA 39. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LAS ENTRADAS DE BRÓQUIL VERDE.	67
FIGURA 40. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN FUNCIÓN DE LAS DOS COMPONENTES PRINCIPALES.	70
FIGURA 41. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS ENTRADAS DE BRÓQUIL EN FUNCIÓN DE LAS DOS COMPONENTES PRINCIPALES.	70

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. MINERALES DE DIFERENTES TIPOS DE HORTALIZAS (MG/100G FRESCO). SEGÚN BELITZ Y GROSCH (ASTIASARÁN, 2003)	29
TABLA 2. ENTRADAS, NUMERACIÓN, NOMBRE, TIPOLOGÍA Y LOCALIDAD DE PROSPECCIÓN DE LA COLECCIÓN DE BRÓQUIL A ESTUDIO.....	34
TABLA 3. CONDICIONES ANALÍTICAS Y COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN.....	43
TABLA 4. INTERPRETACIÓN DE LAS VALORACIONES DEL PANEL DE CATA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA PUNTUACIÓN NUMÉRICA POR CADA ENTRADA.....	46
TABLA 5. RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EXPRESADA EN MG EQ. TROLOX /G.	53
TABLA 6. MATRIZ DE CORRELACIÓN (COEFICIENTES PEARSON) ENTRE LOS COMPUESTOS FITOQUÍMICOS	55
TABLA 7. CONTENIDO DEL CONTENIDO MINERAL Y ELEMENTOS MINERALES ($\bar{X} \pm SD$) EN BRÓQUIL Y TESTIGOS. LETRAS DISTINTAS INDICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE GRUPOS (TUKEY B, $P \leq 0,05$) OBSERVADAS TRAS EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO (ANOVA).....	57
TABLA 8. VARIANZA TOTAL EXPLICADA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES A PARTIR DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS ESTUDIADOS.	69
TABLA 9. MATRIZ DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	69

a. RESUMEN

El Bróquil, *Brassica oleracea* L. var *itálica*, es una hortaliza tradicional de la provincia de Huesca, cultivada en ciclo de invierno, en huertos familiares para autoconsumo o en pequeñas explotaciones para abastecer mercados de proximidad, donde es muy apreciada por su peculiar sabor. Existen dos variantes, el bróquil pellado y el bróquil verde, que se diferencian entre sí por la parte aprovechable. Del bróquil pellado se consumen las hojas tiernas e inflorescencias que se forman en la yema terminal y en las axilas de las hojas a modo de pequeñas coliflores. En el bróquil verde se consumen mayoritariamente las hojas ya que las inflorescencias, en el momento de la recolección, o no se han formado o tienen un tamaño muy pequeño.

En un estudio previo realizado en la EPSH sobre la caracterización fitoquímica de 4 variedades tradicionales de bróquil de Huesca cultivadas en diferentes ambientes, se reveló que el bróquil presentaba una mayor concentración de compuestos bioactivos que el brócoli, variedad mejor valorada de la familia *Brassicaceae* por sus altos contenidos en dichos compuestos. Por otro lado, se desconoce la variabilidad de estos compuestos en el germoplasma del bróquil, como tampoco existe información sobre la composición mineral del mismo.

Por ello, se planteó realizar un estudio fitoquímico y del contenido mineral del germoplasma disponible de 13 entradas de bróquil, conservadas en el Banco de Germoplasma Hortícola de Zaragoza (BGHZ), y cultivadas en el CPIFP Montearagón bajo las mismas condiciones ambientales, así como evaluar organolépticamente todas las muestras. Este trabajo, ha sido realizado con la ayuda de la beca de investigación otorgada por la Diputación Provincial de Huesca (Premios Félix de Azara XXI, convocatoria de 2018).

Para la realización de este estudio, se utilizaron como testigo plantas comerciales de brócoli y una entrada de bróquil pellado cultivada en distintas condiciones ambientales.

Los análisis de compuestos fitoquímicos (fenoles, flavonoides y glucosinolatos), vitamina C y actividad antioxidante, se realizaron siguiendo los procedimientos puestos a punto en el estudio previo, dado que se trataba del mismo material vegetal. Los elementos minerales (S, P, K, Fe, Mg, Ca, Mn, Zn y Na) se cuantificaron por espectrofotometría a la llama o uv/vis. Y, la evaluación organoléptica se realizó siguiendo la metodología desarrollada por el CPIFP San Lorenzo.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos muestra gran variabilidad entre todas las entradas a estudio para la mayoría de parámetros analizados, así como gran variabilidad dentro de cada tipología; no se detectaron diferencias significativas entre el bróquil pellado y el verde. Estos resultados se atribuyen a la heterogeneidad de los cultivos tradicionales y a unas condiciones de cultivo atípicas en el presente año. Por otro lado, los resultados obtenidos para las entradas de la colección de bróquil muestran resultados similares o superiores al brócoli testigo, reafirmando con ello las cualidades beneficiosas del bróquil de la provincia de Huesca. Los resultados del panel de cata destacaron al bróquil pellado sobre el verde. Las entradas de bróquil pellado mejor valoradas fueron BP6 y BP1 y entre las de bróquil verde, BV2 y BV1, todas ellas con una alta valoración organoléptica.

Palabras clave: bróquil verde, bróquil pellado, fenoles, flavonoides, vitamina C, glucosinolatos, actividad antioxidante, elementos minerales, S, P, K, Fe, Mg, Ca, Mn, Zn, Na y evaluación organoléptica.

b. ABSTRACT

Bróquil, *Brassica oleracea* L. var *itálica*, is a traditional vegetable from the province of Huesca, grown in the winter cycle, in home gardens for self-consumption or in small farms to supply local markets, where it is highly appreciated for its peculiar flavor. There are two variants, the headed bróquil and the green bróquil, which differ from each other by the usable part. The young leaves and inflorescences that form in the terminal bud and in the axils of the leaves are consumed as small cauliflowers from the headed bróquil. In green bróquil, the leaves and inflorescences are mostly consumed, at the time of collection, or they have not formed or are very small in size.

A previous study carried out at the EPSH on the phytochemical characterization of 4 traditional varieties of bróquil from Huesca grown in different environments, it was revealed that bróquil had a higher concentration of bioactive compounds than broccoli, a variety that is best valued from *Brassicaceae* family for its high content of these compounds. On the other hand, the variability of these compounds in bróquil germplasm is unknown, and there isn't information on its mineral composition.

Therefore, it was proposed to carry out a phytochemical study and the mineral content of the available germplasm of 13 bróquil entries, conserved in the Horticultural Germplasm Bank of Zaragoza (BGHZ), and cultivated in the Montearagón CPIFP under the same environmental conditions, as well as evaluating organoleptically all samples. This work has been carried out with the help of the research grant awarded by the Provincial Council of Huesca (Félix de Azara XXI Awards, call 2018).

To carry out this study, commercial broccoli plants and an entrance of headed bróquil grown under different environmental conditions were used as a control.

The analyzes of phytochemical compounds (phenols, flavonoids and glucosinolates), vitamin C and antioxidant activity were carried out following the procedures set out in the previous study, since it was the same plant material. The mineral elements (S, P, K, Fe, Mg, Ca, Mn, Zn and Na) were quantified by flame or UV / vis spectrophotometry. And, the organoleptic evaluation was carried out following the methodology developed by the CPIFP San Lorenzo.

The statistical analysis of the results obtained shows great variability between all the inputs to study for most of the parameters analyzed, as well as great variability within each typology; no significant differences were detected between headed and green bróquil. These results are attributed to the heterogeneity of traditional crops and atypical growing conditions this year. On the other hand, the results obtained for the entries of the bróquil collection show similar or superior results to the control broccoli, thereby reaffirming the beneficial qualities of the bróquil from the province of Huesca. The results of the tasting panel highlighted the headed bróquil over the green bróquil. The best valued headed bróquil entries were BP6 and BP1, and among those of green bróquil, BV2 and BV1, all of them with a high organoleptic evaluation.

Keywords: green broquil, headed broquil, phenols, flavonoids, glucosinolates, vitamin C, antioxidant activity, mineral elements, S, P, K, Fe, Mg, Ca, Mn, Zn, Na and organoleptic evaluation

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del trabajo

El Bróquil, *Brassica oleracea* L. var *itálica*, es una hortaliza tradicional de la provincia de Huesca, cultivada en ciclo de invierno, en huertos familiares para autoconsumo o en pequeñas explotaciones para abastecer mercados de proximidad.

El bróquil comparte grupo botánico con el brócoli y a diferencia de éste, las plantas de bróquil emiten inflorescencias que constituyen lo que se denomina pella o cabeza, tanto en la yema terminal del tallo como en las yemas axilares de las hojas (Montaner et al., 2018). En el bróquil se consume conjuntamente pellas, brotes tiernos laterales y hojas; mientras que del brócoli se aprovecha sólo la cabeza terminal, formada por agrupamientos florales en el extremo del tallo y las hojas son un subproducto que suele destinarse a consumo animal (Cartea, 2016).

En la provincia de Huesca se cultivan dos variantes de bróquil, el bróquil pellado y el bróquil verde. Estas tipologías difieren entre sí por la existencia y abundancia de pellas, siendo más abundantes y de mayor tamaño en el bróquil pellado. El bróquil pellado es más demandado que el bróquil verde, principalmente por poseer un sabor más suave en comparación con el sabor intenso del bróquil verde.

Las variedades de bróquil cultivadas en la provincia de Huesca proceden de dos viveristas provinciales que conservan, mantienen, multiplican y distribuyen año tras año sus propios genotipos, así como de las semillas que pueda guardarse cada hortelano para su propio abastecimiento. No obstante, en el Banco de Germoplasma Hortícola de Zaragoza (BGHZ) se conserva una colección de 17 entradas de bróquil para evitar el riesgo de erosión genética (Montaner et al. 2018).

Los desarrollos científicos en investigación nutricional se están centrando en la innovación de productos en el área de alimentos o ingredientes funcionales y las brásicas se encuentran en auge por la difusión de los beneficios que brindan (Vázquez et al., 2020). La especie *B. oleracea* L. se caracteriza por ser rica en minerales, vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos, glucosinolatos y compuestos con actividad antioxidante (Maroto, 2002; Mohanta et al., 2018).

En un estudio previo realizado en la EPSH sobre la caracterización fitoquímica de 4 variedades tradicionales de bróquil, los resultados obtenidos demostraron que el bróquil presentaba una alta concentración de compuestos bioactivos responsables de la capacidad antioxidante y en algunos casos superiores al brócoli (Laguna, 2018). Se desconoce la variabilidad de estos compuestos en el germoplasma del bróquil, como tampoco existe información sobre su composición mineral. En este trabajo se pretende realizar un estudio fitoquímico y del contenido mineral del germoplasma disponible del bróquil cultivado en las mismas condiciones ambientales, así como evaluar organolépticamente todas las muestras.

Este estudio se ha financiado con la ayuda de la beca de investigación otorgada por la Diputación Provincial de Huesca (Premios Félix de Azara XXI, convocatoria de 2018).

Dentro del marco de la Agenda 2030 de la ONU, el presente trabajo contribuye a los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:

- 12. Producción y consumo responsables.
Dado que se trata de poner en valor un alimento tradicional, de consumo local, cuyo consumo contribuye a disminuir la huella de carbono.
- 13. Acción por el clima.
Dado que un aumento del consumo local del bróquil puede ayudar a disminuir la huella de carbono que se genera en las cadenas de distribución alimentarias.

- 15. Vida de ecosistemas terrestres.

Dado que se fomenta la investigación de los cultivos tradicionales y su puesta en valor favorece la conservación de estas variedades, deteniendo con ello la pérdida de diversidad del género *Brassicaceae*.

1.2. El género *Brassica*

El género *Brassica*, de la tribu *Brassiceae*, pertenece a la compleja familia *Brassicaceae* (alt. *Cruciferae*). La familia *Brassicaceae*, también llamada *Cruciferae* por sus pétalos cruciformes (cuatro pétalos de flores dispuestos en forma de cruz), es una familia de importancia económica y científica, la cual incluye hortalizas importantes como el repollo, el nabo, el rábano, especies de uso industrial como la colza o la mostaza, ornamentales como *Aurinia Desv.* y *Matthiola L.*, o malas hierbas como *Lepidium apetalum Willd.* (Liu et al., 2020)

Las relaciones entre los principales clados y tribus de *Brassicaceae* siguen siendo controvertidas a pesar de que se han utilizado datos moleculares cada vez mayores en estudios filogenéticos (Liu et al., 2020). Actualmente la familia comprende 52 tribus, 351 géneros y 3977 especies (BrassiBase), y la filogenia resumida de esta gran familia, así como su complejidad, se puede observar en la figura 1.

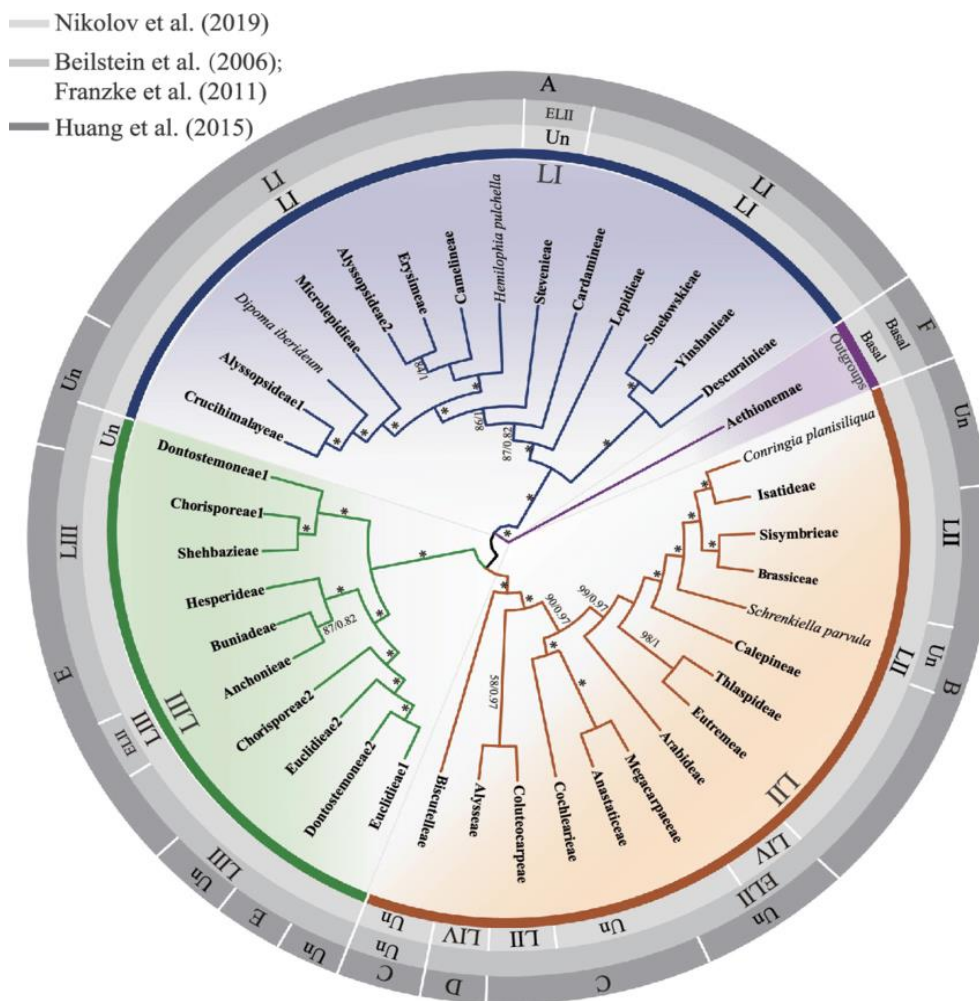


Figura 1. Filogenia resumida de máxima verosimilitud del núcleo *Brassicaceae* como resultado de los árboles filogenéticos del núcleo *Brassicaceae* en cuatro estudios representados por cuatro círculos que representan la definición de clados de *Brassicaceae*. El círculo más interno representa la división de ramas de Liu et al. (2020). Los tres círculos exteriores indican resultados filogenómicos previos, referidos a Beilstein en 2006, Franzke en 2011 y Huang en 2015, y Nikolov en 2019, de adentro hacia afuera respectivamente. (Liu et al., 2020)

La sistemática de *Brassicaceae* está en continua evolución, pero durante los últimos años se han resuelto muchos conflictos gracias a los estudios moleculares. La familia se divide en dos grandes grupos, de los cuales uno es *Aethionema* y el otro representa el núcleo de la propia familia. Este último a su vez, se divide en tres linajes.

Esta familia está formada por 372 géneros y más de 4000 especies. Se caracterizan por ciclos cortos y una amplia adaptabilidad, debido a esto *Brassicaceae* puede ser cultivada en diferentes temporadas y entornos. La familia muestra una distribución mundial, excepto la Antártida. La mayoría de los taxones se encuentran en regiones templadas del hemisferio norte. Sin embargo, numerosos géneros también se encuentran en el hemisferio sur (BrassiBase).

Las especies de la familia *Brassicaceae* se pueden distinguir fácilmente desde el punto de vista morfológico de las especies de cualquier otra familia de plantas vasculares, incluso si están estrechamente relacionadas, debido a su arquitectura floral altamente conservada y bastante uniforme.

Por otro lado, los frutos de las *Brassicaceae* exhiben una enorme diversidad en tamaño, forma y estructura, y se utilizan como los caracteres de diagnóstico más importantes para la delimitación e identificación de taxones en varios rangos, ya que presentan diversas modificaciones morfológicas, así como la estructura de la semilla y de las glándulas nectaríferas de la flor, aunque no tengan valor absoluto debido a varias excepciones. La morfología y la anatomía de la semilla tienen un significado taxonómico importante en la familia. (Pavoneca, 2021)

El género *Brassica* comprende 44 especies, distribuidas principalmente en el Mediterráneo, con menos representantes en Europa, sudoeste de Asia, centro y sur de África y la costa este de América del Norte (BrassiBase). Muchas son anuales o bienales, y algunas incluso son pequeños arbustos, a su vez, el género es destacable por incluir muchas e importantes especies cultivadas en horticultura.

La definición del género se complica por la facilidad de hibridación, sin embargo, las principales características morfológicas de este género son que incluyen hierbas anuales, bienales, perennes e incluso sufruticosas, con raíz axomorfa y a veces napiformes; flores con pétalos unguiculados, amarillos o blancos, y estigma capitado; frutos en silicua, con valvas convexas y semillas esféricas dispuestas generalmente en una fila en cada lóculo (De la Rosa, 2017).

Como ejemplo de hibridación en las seis especies de uso agrícola más importantes del género *Brassica*, Woo Jang-choon propuso en 1935 una teoría sobre la evolución y las relaciones entre el género a través de cruces por pares de tres diploides, que se ilustra como triángulo en U, figura 2. La teoría planteó la hipótesis de que los genomas de tres especies diploides ancestrales de *Brassica*, *B. rapa* o nabo ($2n = 20$, AA), *B. nigra* o mostaza ($2n = 16$, BB) y *B. oleracea* o repollo ($2n = 18$, CC), colocados en las esquinas del triángulo se habían combinado a través de cruces naturales para crear nuevas especies alotetraploides de cultivos de semillas oleaginosas, *B. juncea* o mosataza india ($2n = 36$, AABB), *B. napus* o colza ($2n = 38$, AACC) y *B. carinata* o colza etíope ($2n = 34$, BBCC), indicados a lo largo de los lados del triángulo.

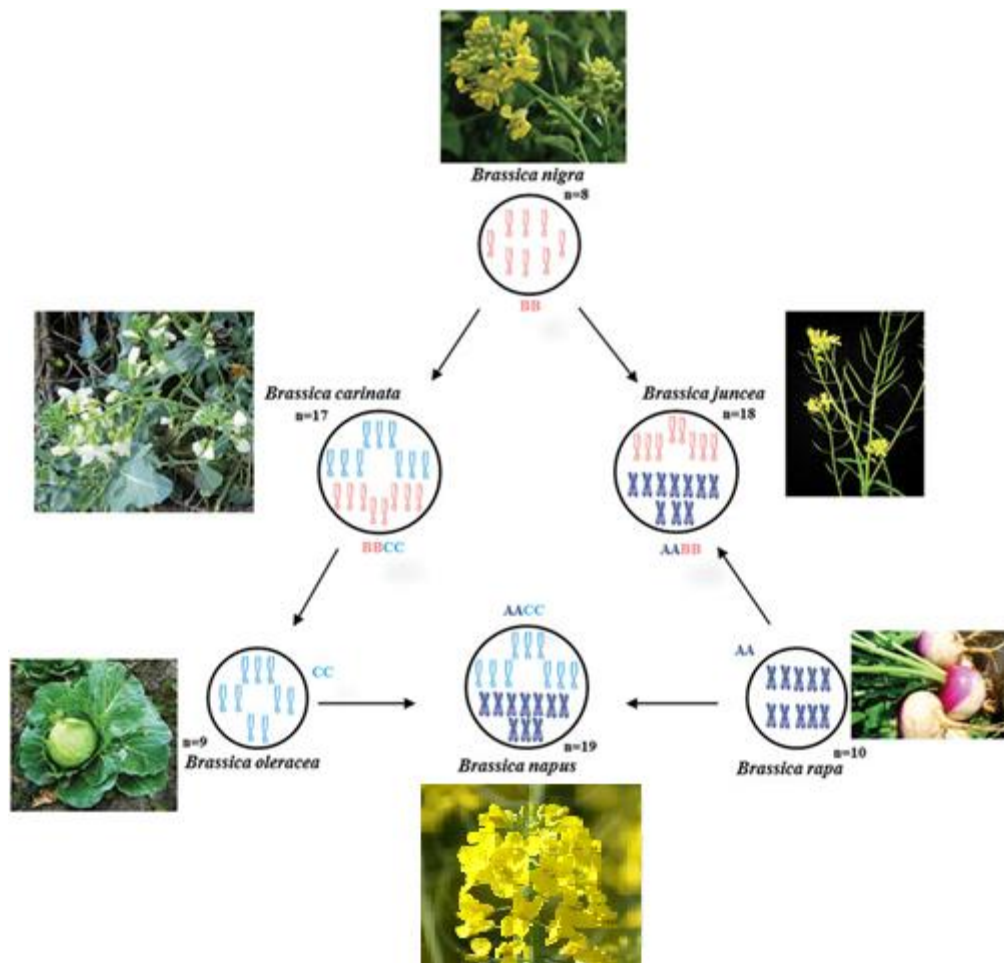


Figura 2. Diagrama del triángulo de U que ilustra las relaciones genéticas entre seis especies del género *Brassica*, como el nabo (AA), la mostaza (BB), la col (CC), la mostaza india (AABB), la colza (AACC) y la colza etíope (BBCC). Los cromosomas de cada uno de los genomas a, b y c están representados por diferentes colores. (Pinterest, 2021)

El género *Brassica* es muy variable tanto en formas como en productos; pueden utilizarse en alimentación humana, animal, industria y ornamentación. En alimentación son aprovechadas como hortalizas, condimentos, oleaginosas y forrajes; con una amplia gama de vegetales en los que diversas partes son comestibles, la raíz en colinabo, rábano y nabo, los tallos en el colirrábano, hojas en el repollo y coles de Bruselas, las flores en coliflor y brócoli, y las semillas en mostaza y colza. De ellas, solo dos especies tienen un aprovechamiento exclusivamente hortícola: *Brassica oleracea* (repollo, brécol, coliflor y berza) y *Brassica rapa* (nabizas, los grelos y el repollo chino); mientras que la especie *Brassica napus* tiene un aprovechamiento mixto, con uso hortícola en nabicol y rutabaga u oleaginosas en colza. Por otra parte, en ornamentación se utilizan algunas formas con follaje blanco, rosa o púrpura, o cabezas florales seleccionadas para tal fin y no por sus cualidades organolépticas, destacando la especie *B. oleracea* var. *acephala*. (Tortosa, 2015; Cartea, 2016).

1.3. La especie *Brassica oleracea*

La especie *Brassica oleracea* L., conocida genéricamente con el nombre de col, se encuentra entre las especies más importantes del género *Brassica* por la difusión y el aprovechamiento alimenticio de hojas, inflorescencias, flores, yemas y raíces. Las distintas formas de aprovechamiento se originaron a partir de diferentes cruces y mutaciones espontáneos con gran

capacidad de adaptación ambiental y que fueron seleccionados y mantenidos en el tiempo por el hombre. (Pavoneca, 2021).

El proceso de domesticación que ha dado lugar a las formas cultivadas de la col aún no está del todo claro en cuanto a su localización inicial, ni por las especies progenitoras involucradas. Algunos autores proponen que la domesticación comenzó en la zona atlántica del oeste de Europa, zona donde está distribuida la *B.oleracea* silvestre (Casals et. al 2012). Mientras que 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). Por otro lado, estudios de genética molecular han encontrado que *B.oleracea* sub. *oleracea* es la más cercana a las especies cultivadas y, por tanto, más estrictamente relacionada con los ancestros de todas las *B. oleraceas* cultivadas. Y finalmente, estudios recientes de biología molecular indican que la especie endémica del Egeo *B. cretica* Lam. es el pariente más cercano existente a *B.oleracea* cultivada, confirmando en consecuencia que la domesticación se produjo en la región del Mediterráneo oriental (Pavoneca, 2021)



Figura 3. Domesticación de *B.oleraceae* según el aprovechamiento de distintos órganos de *B.oleracea* ancestral. (Fernández, 2012)

En el material vegetal de esta especie se diferencian los taxones según el lugar donde se ha producido la alteración morfológica, puesto que las primeras formas domesticadas habrían sido seleccionadas por los agricultores para aprovechar distintos órganos de las diferentes partes comestibles de la planta, ya sea en hojas, flores o a lo largo del tallo, tal y como puede observarse en la figura 3 (Casals et al., 2012, Cartea et al., 2016). De este modo, por selección de las yemas terminales se han originado la col o el repollo; por selección de las yemas laterales, agrandando el axilar de los brotes, se han originado las coles de Bruselas; el colirrabano es fruto de una selección del engrosamiento del tallo; la col rizada o las berzas son fruto de una alteración en las hojas; por selección de los tallos y flores se ha formado el brócoli y, por selección de las inflorescencias la coliflor (Enamorado, 2017, Cartea et al., 2016).

Dentro de esta especie se diferencian varios taxones infraespecíficos, también conocidos como variedad, grupo, subespecie o grupo cultivar. Estos presentan diferentes características tanto desde el punto de vista morfológico como de aprovechamiento. Las formas cultivadas de

B.oleracea se pueden clasificar en siete grupos de cultivo, y la taxonomía y descripción de cada una de estas formas se resume a continuación (De la Rosa, 2017, Pavoneca, 2021):

- **Acephala**

Las especies pertenecientes a este grupo se diferencian del resto por estar desprovistas de la cabeza central, debido a que el órgano que se ha seleccionado para su cultivo durante la domesticación han sido las hojas. A este grupo de cultivo pertenecen varias variedades de col de hoja como la col verde y la berza, o variedades de uso ornamental por la presencia de hojas con colores brillantes. Es frecuente que los agricultores la denominen con otros nombres por su morfología (ciclo, forma, color) o uso como son: berza amarilla, blanca, abierta, gigante, castellana, gallega, rizada, de comer, de forraje, tardía, etc. (De la Rosa, 2017).

- **Alboglabra: kai-lan (brócoli Chino).**

A este grupo pertenece el kai-lan o col verde china. Estas variedades se caracterizan por tener hojas gruesas, lisas y de color verde azulado, puesto que el órgano alterado durante la domesticación fueron las hojas. Presentan tallos gruesos y una inflorescencia similar a la del brócoli pero de menor tamaño.

- **Botrytis: coliflor y romanesco.**

Este grupo se caracteriza por tener una morfología similar a un racimo, es decir, son plantas que producen una cabeza globosa muy carnosa y comestible que representa el meristemo floral; morfología ocasionada por un mayor desarrollo de las inflorescencias. A este grupo de cultivo pertenecen la coliflor, el romanesco. En España, algunos nombres comunes de coliflor hacen referencia al tiempo de cultivo (coliflor de noche buena, de marzo, tardía, de Santa Catalina) o al color de la pella (coliflor rubia o blanca).

- **Capitata: repollo y lombarda.**

A este grupo pertenecen las formas que producen una cabeza formada por innumerables hojas densamente compactadas debido a los entrenudos extremadamente reducidos entre las hojas y originadas por su selección en las yemas terminales. Sus hojas son muy carnosas y cumplen una función de acumulación de nutrientes. Algunas variedades son de color rojo o violáceo debido a las antocianinas. A este grupo pertenecen el repollo descabezado, la col roja o la col lombarda. Al repollo también se le conoce como col, col de corazón de buey, col de pella, etc.

- **Gemmifera: col de Bruselas.**

Este grupo se diferencia del resto en la selección de sus yemas laterales; este desarrollo provoca unas yemas axilares globulares formadas por foliolos estrictamente imbricados. A este grupo pertenecen las coles de Bruselas.

- **Gongylodes: colirrábano.**

Este grupo incluye formas donde la parte inferior del tallo, órgano alterado en la domesticación, produce una hinchazón comestible redondeada de donde se despenden algunas hojas. El color puede ser blanco, verde o violáceo. Y a este grupo pertenece el colinabo o el colirrábano.

- Italica.

A este grupo pertenecen las formas que tienen cabezas florales, generalmente verdes, dispuestas a partir del tallo, formando así una estructura ramificada en forma de árbol como consecuencia de la selección de tallos y flores durante la domesticación. La cabeza es menos compacta que en la coliflor y en las axilas de las hojas pueden aparecer también brotes florales laterales de menor tamaño. En este grupo se encuentran las variedades de brócoli o brécol y de bróquil.

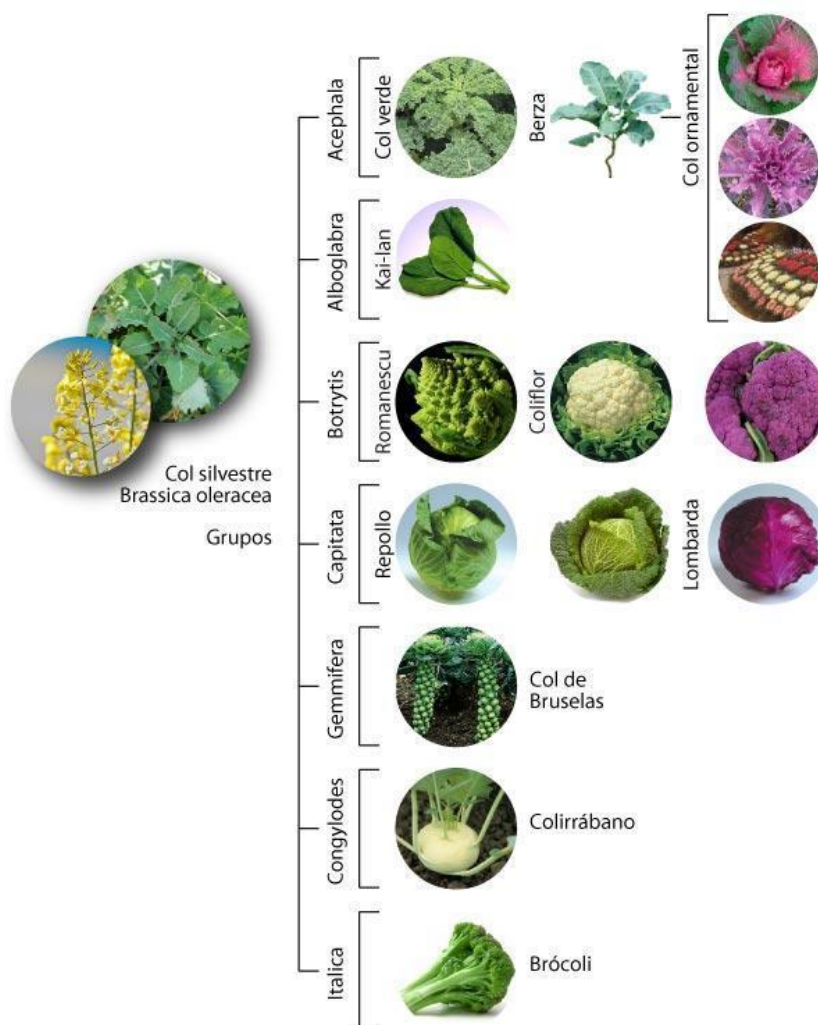


Figura 4. Grupos de cultivo y variedades de *B. oleracea* L. (Fernández, 2012)

Cabe señalar que la clasificación anteriormente expuesta y observada en la figura 4, es una de las varias que los expertos utilizan para encuadrar taxonómicamente las formas y aprovechamientos más comunes de esta especie. No obstante, la proximidad genética entre muchos de estos grupos y la variabilidad existente dentro de cada uno de ellos hace que en muchas ocasiones, sobre todo cuando se trabaja con variedades tradicionales, sea complejo enmarcarlas taxonómicamente.

1.4. El bróquil de Huesca

El bróquil, a falta de un estudio sistemático basado en la biología molecular que avale el encuadre taxonómico, se enmarca dentro de la variedad (grupo) *Brassica oleracea* L. var *italica*, al que, como ya se ha comentado, también pertenece el popularmente conocido como brócoli o brécol. Este último grupo proviene de la variedad tradicional tipo "Calabrese" de la península itálica (Branca, 2018). La domesticación en brócoli, cultivo ampliamente reconocido, incrementó el tamaño de la cabeza terminal y redujo sus brotes laterales dando lugar a una pella única (brócoli) en lugar de ramificada (sprouting broccoli o bróquil) (Dixon, 2017). Sin embargo, en el sur de Italia y otros lugares de la cuenca mediterránea se cultivan todavía variedades tradicionales, variedades menos seleccionadas, que muestran diferentes tipos ramificados, con morfología similar al bróquil de Huesca.

Su taxonomía es la siguiente:

Orden: *Brassicales* (= Cruciales)

Familia: *Brassicaceae* (= Cruciferae)

Tribu: *Brassiceae*

Subtribu: *Brassicinae*

Género: *Brassica*

Especie: *Brassica oleracea* L. Variedad

Variedad: *Brassica oleracea* L. var. *italica*

El bróquil es una hortaliza de invierno tradicional del norte de Aragón. Las plantas del bróquil emiten inflorescencias, denominadas pellas o cabezas, tanto en la yema terminal del tallo como en las yemas axilares de las hojas; las cuales se encuentran rodeadas de hojas tiernas.

Para su consumo se aprovechan tanto las hojas tiernas como las pequeñas pellas o cabezas que se forman en cada brote. Forma parte de las llamadas verduras de invierno, es decir, aquellas que se cultivan desde finales de verano y durante el otoño para consumir en la estación invernal.

El cultivo se realiza a partir de plantones producidos por los viveristas locales que son a su vez los que conservan, mantienen, multiplican y distribuyen año tras año sus propios genotipos. Al igual que ocurre con otros cultivos tradicionales de este género como la berza, el nabicol o los grelos, no existen variedades comerciales (Cartea et al., 2016). La producción se realiza en huertos familiares para autoconsumo o en pequeñas explotaciones para abastecer mercados de proximidad. Se ha conservado hasta hoy día gracias a agricultores locales y viveristas, que a través de la multiplicación de su propia semilla han mantenido su cultivo y su comercialización en los mercados de proximidad. Esto conlleva un alto riesgo de erosión genética. No obstante, en el Banco de Germoplasma de Especies Hortícolas de Zaragoza (BGHZ-CITA) conserva una colección de entradas de este cultivo con diferentes denominaciones locales (bróquil pellado, verde, de hijos, hijudo, hijiau pellau, hijiau verde,...) prospectadas mayoritariamente en la provincia de Huesca (Montaner, 2018).

Gastronómicamente es considerado un manjar por su peculiar sabor. Sin embargo, su consumo en las últimas décadas se ha reducido, probablemente, por la laboriosidad que implica acondicionarlo para el cocinado, tener que manejar un volumen considerable de planta para obtener la ración de una familia media y por la competencia de otras variedades de esta especie que resultan más cómodas como el brócoli, la coliflor, el romanescu o la col. Estas limitaciones

no son tales para el sector de la restauración que está apostando por la recuperación para la gastronomía local de esta verdura tradicional (Montaner, 2018).

En la provincia de Huesca se cultivan dos variantes de bróquil, el bróquil pellado y el bróquil verde, figura 5; la diferencia entre ambas reside principalmente en el tamaño y disposición de sus inflorescencias. El bróquil pellado es más demandado para el consumo ya que tiene cabezas más grandes y abundantes. El bróquil verde tiene un sabor más intenso con cabezas de reducidas dimensiones por lo que se consume principalmente la hoja. A su vez, las pellas muestran un color variable de crema a amarillo verdoso.

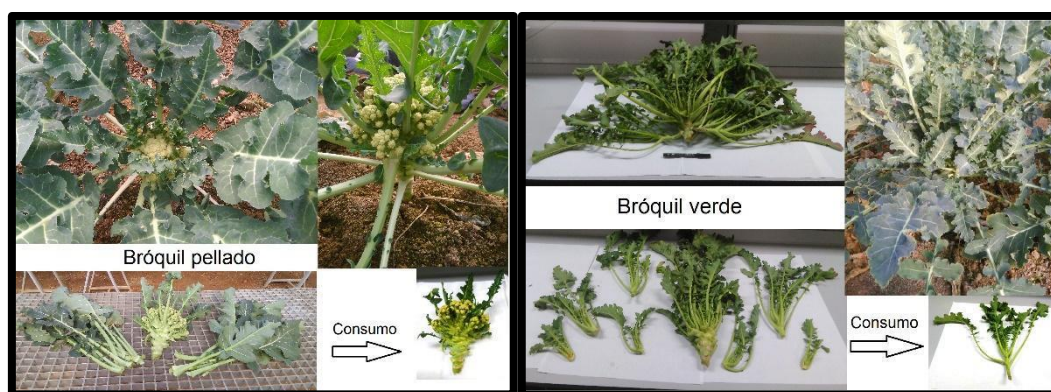


Figura 5. Bróquil pellado (izquierda) y bróquil verde (derecha).

1.5. Importancia de las variedades tradicionales

Las variedades tradicionales, también denominadas variedades locales o ecotipos, son aquellas que han sido cultivadas, seleccionadas de forma empírica y mantenidas por las personas que las cultivan y hacen uso de ellas en una región o localidad específica. Debido a su carácter local o regional, presentan gran rusticidad, están muy bien adaptadas a las condiciones locales y suelen presentar plasticidad ante perturbaciones. Por el contrario, no suelen mostrar uniformidad, puesto que no se trata de variedades comerciales, y sus producciones pueden ser inferiores a otras variedades mejoradas genéticamente.

En las últimas décadas, estas variedades tradicionales han sido sustituidas por variedades procedentes de casas de semillas que ofrecen mejores rendimientos y se adaptan mejor a tareas mecanizadas. Sin embargo, en la actualidad hay un creciente interés por las variedades tradicionales, debido a la pérdida de sabores en la producción hortícola convencional, el incremento de la producción ecológica o la búsqueda de tipos diferenciados para nutrir principalmente el comercio de proximidad. Además, a estas variedades suelen atribuirse características organolépticas y nutraceuticas interesantes, aunque el conocimiento sobre las mismas es escaso, reduciéndose a la información ofrecida por la persona que ha mantenido dicha variedad a lo largo del tiempo. Por ello es importante llegar a conocer las cualidades de estos materiales vegetales.

Las variedades tradicionales del género *Brassica* son numerosas y suelen ser muy populares en el área geográfica donde se cultivan. Estas variedades se caracterizan por presentar compuestos fitoquímicos muy variados, debido principalmente a su gran diversidad morfológica. (Cartea, 2016). En los últimos años, se ha incrementado su consumo por ser alimentos ricos en vitaminas, antioxidantes y compuestos azufrados (glucosinolatos) entre otros compuestos bioactivos, los

cuales ayudan en la prevención de ciertas enfermedades incluyendo el cáncer así como en el retardo del envejecimiento celular (Cartea et al., 2016).

Las propiedades y características anteriormente expuestas también han sido valoradas tanto por la gastronomía local como por la alta gastronomía por lo que en la actualidad han pasado a formar parte de las cartas de cocineros de renombre y a ser productos esenciales entre las materias primas de temporada. Este hecho contribuye a la puesta en valor de las mismas (Calvo, 2016).

1.6. Parámetros de calidad

La calidad de un producto alimenticio puede ser diferente dependiendo de los distintos puntos de vista de consumidores, productores, nutricionistas, etc., de tal manera que se puede destacar o definir:

- La calidad organoléptica está constituida por el color, el sabor, el aroma, la textura y demás atributos captados a través de los sentidos.
- La calidad nutritiva hace referencia a la capacidad de un alimento de proporcionar los nutrientes necesarios para las funciones vitales del consumidor.
- La calidad funcional hace referencia a los compuestos bioactivos que nos pueden proporcionar los alimentos para mejorar la salud del consumidor.

Las distintas formas cultivadas de la especie *B. oleracea* L. (repollo, coliflor, col de Bruselas, brócoli, etc.), están siendo cada vez más valoradas por sus parámetros de calidad tanto organoléptica, como nutritiva y funcional. (Vázquez et al., 2020). En la figura 6 se detallan los principales tipos de nutrientes y compuestos bioactivos.

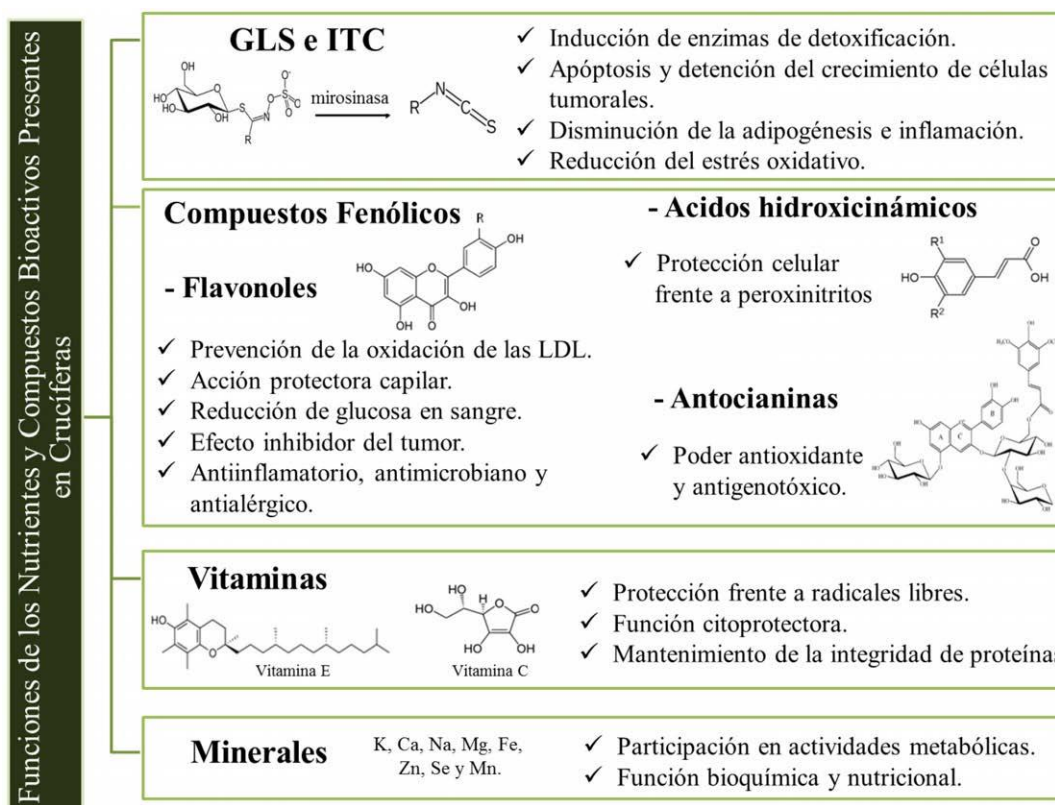


Figura 6. Principales nutrientes y compuestos bioactivos presentes en las brásicas (López et al., 2017)

1.6.1. Parámetros de calidad funcional

Los alimentos funcionales son aquellos alimentos que, en forma natural o procesada, contienen componentes biológicamente activos, los cuales ejercen efectos beneficiosos para la salud que van más allá de la nutrición (Vidal, 2008).

Los fitoquímicos o compuestos bioactivos, son metabolitos secundarios de las plantas, es decir, son compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, como funciones fisiológicas y/o medicinales de los organismos, excluyendo su posible papel como nutrientes. Y, a diferencia de lo que sucede con los metabolitos primarios, la ausencia de algún metabolito secundario no impide la supervivencia en plantas, aunque ésta puede verse gravemente afectada.

En ellos, se encuentran familias químicas muy diversas, y a su vez, poseen estructuras y propiedades muy variadas (figura 6). Entre los compuestos bioactivos destacan los carotenoides, las clorofilas, los compuestos fenólicos y los glucosinolatos. Todos ellos, excepto las clorofilas, son metabolitos secundarios de las plantas.

Los vegetales son muy importantes en una dieta equilibrada. Además, algunos ofrecen una mejor y mayor cantidad de compuestos bioactivos que los medicamentos (López, 2017). A su vez, un gran número de estudios epidemiológicos han demostrado que un consumo regular de vegetales de la familia de las *Brassicas* ayuda a la disminución del riesgo de padecer diferentes tipos de cáncer, gracias a estos compuestos (Vallejo et al., 2002). Las *Brassicas* son por tanto alimentos funcionales, y el estudio del contenido de sus compuestos bioactivos junto con su capacidad antioxidante nos permite evaluar la calidad funcional de las mismas.

Cabe destacar también, que la variación en el contenido de compuestos funcionales, así como de la capacidad antioxidante de las *Brassicas*, es causada por muchos factores como el cultivar, las condiciones de cultivo, el estado de maduración y cosecha, así como las condiciones postcosecha (Vallejo et al., 2002).

Los principales compuestos bioactivos que poseen las *Brassicas* son la vitamina C (reconocida en este grupo por sus beneficios para la salud a pesar de tener funcionalidad de nutriente), los carotenoides, las clorofilas, los compuestos fenólicos y los glucosinolatos; la mayoría de ellos, presentan actividad antioxidante (Podsdek, 2007).

1.6.1.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son fitoquímicos que constituyen un extenso grupo de compuestos muy heterogéneos que contienen al menos un grupo fenol, y muchos de ellos presentan actividad antioxidante. Están presentes en los tejidos vegetales donde se encuentran en altas concentraciones en muchos alimentos vegetales y han sido estudiados en numerosas investigaciones como agentes preventivos de enfermedades (Vasconsellos, 2000).

Su estructura molecular se caracteriza por la presencia de uno o varios anillos aromáticos (benceno) y, al menos, un sustituyente hidroxilo, tal y como se observa en la figura 7. Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos. En la figura 7 se pueden observar los principales grupos fenólicos que se pueden encontrar en las plantas y sus diferentes estructuras; dentro de ellos cabe destacar sus dos grandes grupos, los flavonoides y los ácidos fenólicos (benzoicos y cinámicos). Los flavonoides están formados por dos anillos

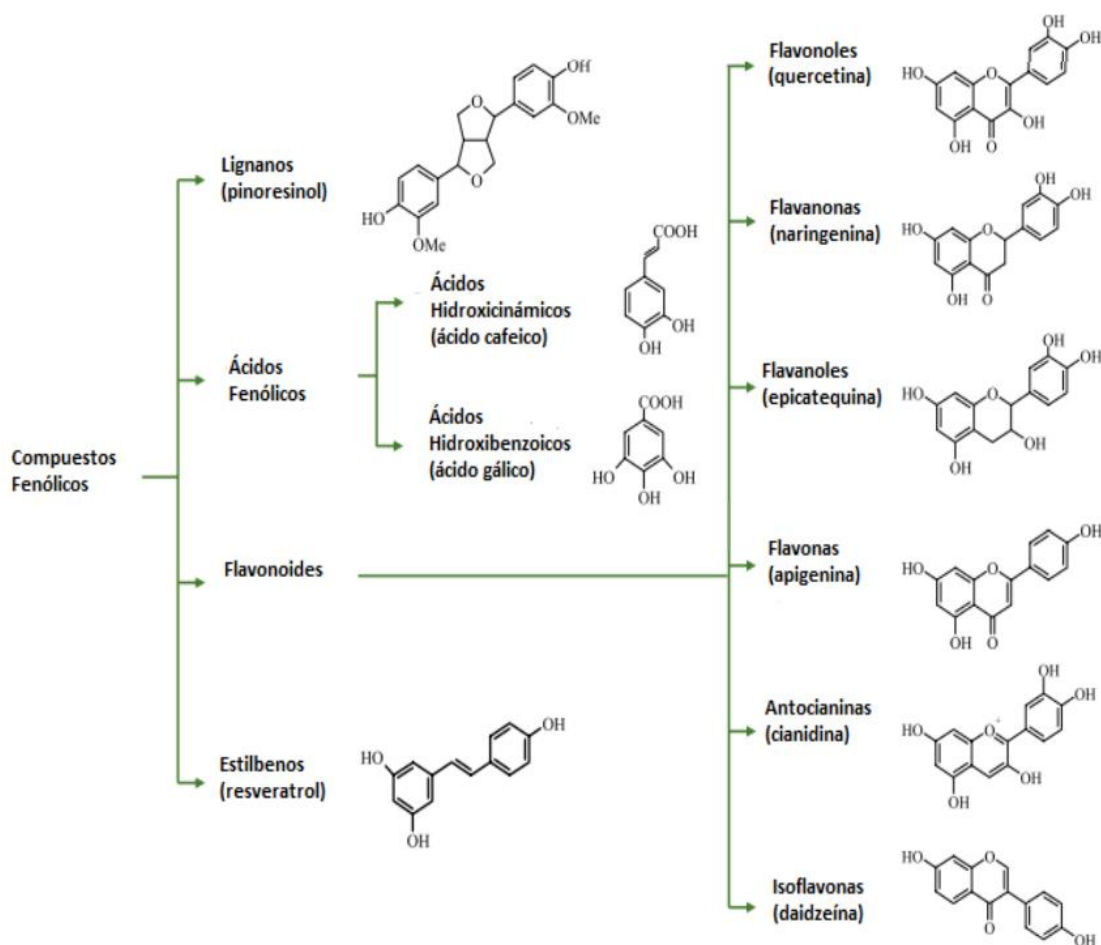


Figura 7. Diferencias estructurales de flavonoides y ácidos fenólicos (no flavonoides). (Watson, 2014)

Los compuestos fenólicos son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas, son sintetizados por los tejidos en situaciones de estrés, tales como una incidencia de radiación ultravioleta excesiva, posibles ataques microbianos, presencia de heridas en las hojas, contaminación ambiental, temperaturas extremas, etc. (Naczk y Shahidi, 2006). Estos compuestos protegen a las plantas contra los daños oxidativos y llevan a cambio la misma función en el organismo humano, gracias a su habilidad para bloquear la acción de enzimas específicas que causan inflamación. Como antioxidantes atrapan radicales libres previniendo que estos se unan y dañen las moléculas de ácido desoxirribonucleico, paso crítico en procesos carcinogénicos. (Vasconsellos, 2000).

Aportan color, sabor amargo, astringencia y/o aroma a los alimentos vegetales, siendo su distribución muy diversa dentro de las plantas (hojas, flores, frutos, semillas, tallos, raíces). Las coloraciones azul, azul-rojo y violeta característicos de ciertas variedades de alimentos se deben a su contenido fenólico. Los compuestos fenólicos, especialmente los flavonoides, poseen diferente actividad biológica, debido a la variada naturaleza química de sus compuestos, pero las más importantes son la actividad antioxidante y el efecto inhibidor de varias clases de tumores (Czeczot, 2000). Estas diferencias químicas se traducen también distintos grados de

solubilidad y en la posible interacción de determinados tipos de fenoles con otras sustancias, como proteínas o glúcidos (Naczk y Shahidi, 2006), formando complejos insolubles.

En brotes de crucíferas, los compuestos fenólicos más comunes son los derivados de ácidos hidroxicinámicos, pertenecientes al grupo de los ácidos fenólicos, como los ácidos sinápicos y clorogénicos con efecto protector contra el estrés oxidativo en células. Los brotes con mayor cantidad de compuestos fenólicos no coloreados (ácidos hidroxicinámicos y flavonoles) son los de col lombarda, colirrábano, nabo y rábano. Los antocianos, compuestos fenólicos coloreados, están presentes en brotes como los de rábano rojo o col roja, estos compuestos han mostrado propiedades beneficiosas frente al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas (Baenas, 2016).

1.6.1.2. *Flavonoides*

Los flavonoides son pigmentos sintetizados por las plantas que han mostrado efectos beneficiosos para la salud. Los efectos positivos de los flavonoides sobre la salud humana son múltiples: antiinflamatorios, antimicrobianos, antitrombóticos, antialérgicos, antitumorales, anticancerígenos y antioxidantes (Escamilla et al., 2009; Drago, 2006). También favorecen los efectos del ácido ascórbico (vitamina C) (Vasconsellos, 2000). La mayoría de ellos presentan actividad antioxidante e inhiben la síntesis de metabolitos de óxido nítrico u otros radicales libres. (Fisher, 2005).

Los flavonoides son compuestos polifenólicos. Su estructura química, aunque es muy variable, figura 7, se caracterizan por tener una estructura de tres anillos formada por dos centros aromáticos y un heterociclo central oxigenado (C6-C3-C6). Dentro de los flavonoides se encuentran las flavonas, isoflavonas, flavonoles, flavanonas, flavanoles, flavanonoles y antocianinas entre otros, figura 7 (Drago, 2006).

Sus funciones en los organismos vegetales son muy importantes desde el punto de vista fisiológico. Entre otras, intervienen en la regulación de las auxinas y en la diferenciación de las plantas, y facilitan la polinización (Escamilla et al., 2009). Además, también cumplen una función protectora frente a la radiación ultravioleta y la acción de los microorganismos y de animales fitófagos (Hounscome et al., 2009).

Algunos flavonoides poseen una actividad antioxidante superior a algunas vitaminas, tal es el caso de la quercetina, flavonoide ampliamente distribuido en los alimentos y clasificada como una flavona debido a que contiene la estructura 2-fenilcromona (Vasconsellos, 2000).

El consumo conjunto de quercetina y ácido ascórbico tiene un efecto sinérgico, al proteger el segundo a la primera frente a los procesos de oxidación (Escamilla-Jiménez et al., 2009). Sin embargo, aunque la mayoría de flavonoides presentan propiedades antioxidantes, un número reducido de ellos causan el efecto contrario, es decir, son prooxidantes. Este es el caso de las antocianidinas, que debido a su naturaleza química pueden sufrir procesos de autooxidación (Pérez, 2003).

1.6.1.3. Glucosinolatos

Los glucosinolatos (GLS) son metabolitos secundarios de compuestos azufrados, también llamados tioglucósidos, presentes en los tejidos de las especies del orden *Brassicales* de la familia *Brassicaceae*. Se han descubierto unos 120 tipos de glucosinolatos diferentes en la naturaleza, siendo el género *Brassica* el que presenta la tercera parte de los glucosinolatos conocidos (Fahey et al., 2001; Núñez, 2012)

Los glucosinolatos son compuestos constituidos por un grupo β -D-tioglucósido unido a una oxima sulfatada con una cadena lateral (R) derivada de un aminoácido (Mikkelsen et al., 2002), los cuales contienen azufre y nitrógeno en su estructura química, figura 8. Los glucosinolatos se clasifican en tres grupos dependiendo del tipo de cadena lateral R: alifáticos, aromáticos e indólicos, derivados de sus aminoácidos equivalentes (metionina, fenilalanina o triptófano, respectivamente), tal y como puede observarse en la figura 8.

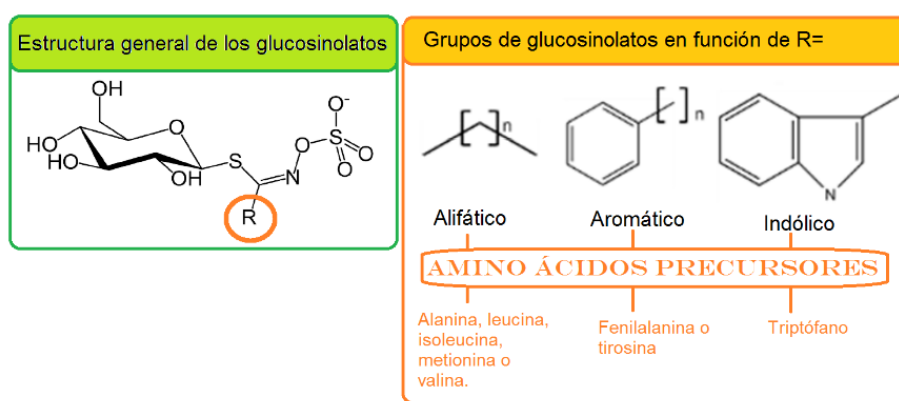


Figura 8. Estructura general de los glucosinolatos y los grupos existentes según el tipo de cadena lateral R. Modificada a partir de Núñez et al., 2012.

Los glucosinolatos más importantes son la sinigrina, la gluconapina y la gluconasturtina. El cultivo de berza posee tres glucosinolatos mayoritarios: dos alifáticos (sinigrina y glucoiberina) y uno indólico (glucobrasicina) (Cartea et al., 2016). Baenas (2016) observa que los brotes más interesantes por su contenido en glucosinolatos son los de brócoli y colirrábano, que poseen como glucosinolato principal la glucorafanina y los brotes de rábano, que poseen glucorafenina como glucosinolato mayoritario, ambos muy estudiados por su efecto beneficioso para la salud.

Su síntesis se da como una respuesta frente a situaciones de estrés, y se encuentran tanto en los tejidos vegetativos como en los tejidos reproductivos, en las vacuolas de las crucíferas (Mithen, 1992; López 2017). Cumplen importantes funciones en el medio natural, como mantener el nivel de equilibrio de las auxinas en los tejidos vegetales (Woodward y Bartel, 2005). Sin embargo, la función principal de los glucosinolatos en la planta es la de atraer o repeler a ciertos tipos de insectos confiriendo resistencia a plagas y enfermedades, ya que cuando un insecto se come las hojas de las plantas, los glucosinolatos se degradan, siendo sus productos de degradación (nitrilos, isotiocianatos, etc.) tóxicos para los insectos. Los isotiocianatos y nitrilos pueden atraer a plagas especializadas de las brasicáceas, pero repelen a las plagas generalistas (Bohinc et al., 2012). Además, los nitrilos tienen la propiedad de atraer a los enemigos naturales de las plagas (Schramm et al., 2012).

Los glucosinolatos no son bioactivos, pero se hidrolizan por la acción de la enzima mirosinasa dando lugar a isotiocianatos e indoles entre otros; estos productos degradados son responsables de los efectos beneficiosos para la salud (López, 2017). Los glucosinolatos y la mirosinasa se

encuentran localizados en la célula, pero en compartimentos de la vacuola independientes; y, cuando se origina la ruptura de la célula, por un proceso de estrés en la planta o al trocear los vegetales en la manipulación, entran en contacto y se produce la hidrólisis. Esto también ocurre en la masticación y en la digestión, debido a la mirosinasa presente en la microflora del tracto digestivo de los humanos (Fahey et al., 2001). En la figura 9 se muestra la hidrólisis de los glucosinolatos por la acción de la mirosinasa y sus productos de degradación (Núñez, 2012). Los productos generados tras la hidrólisis dependen del sustrato, pH, la disponibilidad de iones ferrosos y la estructura de la cadena terminal R.

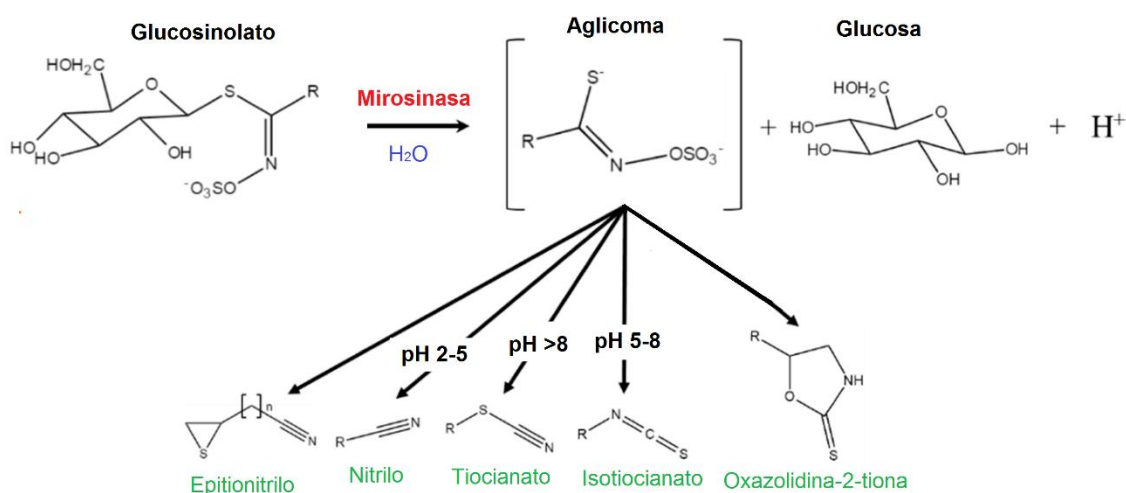


Figura 9. Compuestos generados como resultados de la hidrólisis enzimática de los glucosinolatos. Modificada a partir de Nuñez et al., 2012

Diversos estudios han observado que el consumo de vegetales ricos en glucosinolatos representa un beneficio nutricional, este beneficio deriva de las propiedades de los isotiocianatos (Jareño, 2017, Cartea et al., 2016). Los isotiocianatos, uno de los productos de la hidrólisis o degradación de los glucosinolatos, son los compuestos volátiles responsables del olor y del sabor amargo atribuido a las brásicas, así como de la acción biológica de los glucosinolatos (Fahey et al., 2001). Son compuestos altamente reactivos que pueden activar factores de transcripción, y al hacerlo mejorar la defensa de nuestras células. Por otro lado, también favorecen la actividad de enzimas de detoxificación capaces de eliminar carcinógenos químicos. (López et al., 2017; Baenas, 2016). Algunos isotiocianatos, como el sulforafano, el bencilisotiocianato o el indol-3-carbinol, se asocian a una acción anticancerígena, antiaterogénica y antioxidante, entre otros. Y recientemente, se ha descubierto que el indol-3-carbinol, sustancia derivada de la degradación de la glucobrasicina (glucosinolato presente en las coles, brócolis, coliflores y coles de Bruselas) es capaz de bloquear la replicación en las células de la coronavirus SARS-COV-2, dificultando su propagación en el resto del organismo (Giuseppe et al., 2021).

Las ditioltionas, derivados de los glucosinolatos y contenidos mayoritariamente en las coles, son potentes protectores de los agentes químicos inductores de cáncer, y tienen capacidad de inhibir la replicación del virus VIH.

Todas las crucíferas contienen S-metil cistein sulfóxido, inhibidor de la mutagénesis inducida químicamente, por radiación UV y la génesis de cáncer de colon (Enamorado, 2017).

La inactivación de la enzima mirosinasa durante el cocinado, debido a las altas temperaturas, provoca un descenso de la actividad de estos compuestos, por ello, se recomienda no cocinar

estos vegetales, siendo la mejor opción su consumo en fresco. (Baenas, 2016). Por otra parte, los glucosinolatos tienen una gran importancia en el olor característico de las brassicáceas en el momento de su cocción (Engel et al., 2002).

Las técnicas hortícolas, el clima y las variedades, tienen gran influencia en la acumulación de estos compuestos en la planta, pudiendo aumentar los contenidos en glucosinolatos durante el almacenamiento. Hay estudios que han determinado cómo afectan las técnicas postcosecha y de elaboración a la concentración de glucosinolatos en brócoli (Núñez, 2012). Es posible optimizar el contenido de glucosinolatos y la acción dependiente de la mirosinasa para formar isotiocianatos bioactivos, actuando en las distintas etapas de la cadena alimentaria desde las semillas hasta la planta adulta (López, 2017)

1.6.1.4. Vitamina C

Los beneficios de las crucíferas también se atribuyen, en parte, al gran contenido en vitaminas, tanto hidrosolubles (Vitamina C, riboflavina, niacina y tiamina), como liposolubles (Vitamina A y la Vitamina K1 (fitonadiona) (Enamorado, 2017); siendo estas últimas mayoritarias en hortalizas como las brassicáceas.

La vitamina C forma parte de las propiedades nutricionales de un alimento, sin embargo, se incluye dentro de las funcionales gracias a sus efectos beneficiosos en el sistema inmune y principalmente protegiendo al organismo frente al estrés oxidativo, es un compuesto nutraceutico antioxidante.

La vitamina C presenta dos formas químicas, el ácido ascórbico (forma reducida) y el ácido dehidroascórbico (forma oxidada), que son interconvertibles, tal y como puede observarse en la figura 10.

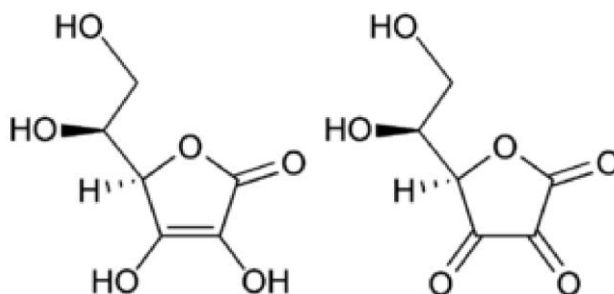


Figura 10. Estructura del ácido ascórbico (izquierda) y del ácido dehidroascórbico (derecha) (Núñez et al., 2012)

Más del 85% de la vitamina C en las dietas humanas es suministrada por frutas y verduras (Davey et al., 2000). La vitamina C interviene en los sistemas de oxidación de la célula vegetal y establece potenciales favorables de oxidación-reducción. Pero una vez consumida, es el ácido L-ascórbico el que tiene mayor función como captador de radicales y como aceptor en el transporte de electrones (Davey et al., 2000), por tanto, el ácido ascórbico tiene mayor capacidad antioxidante que el ácido dehidroascórbico.

Se trata de una biomolécula muy fotosensible y termosensible, aunque su síntesis se ve estimulada por una alta intensidad lumínica sobre la planta en campo, mostrando más resistencia a los factores medioambientales cuando el pH del suelo es ácido (Cámara-Hurtado et al., 2008). Su baja estabilidad es un buen indicador del grado del tratamiento térmico aplicado sobre los alimentos (Davey et al., 2000).

El cocinado y su naturaleza hidrosoluble la hacen susceptible de perderse en el agua de cocción, por lo que el consumo de brotes frescos es una buena opción para incrementar el consumo de vitamina C en la dieta (Baenas, 2016).

1.6.1.5. *Compuestos antioxidantes.*

La capacidad antioxidante se define como la capacidad de inhibir la oxidación de los radicales libres. La mayor parte de los compuestos químicos de importancia biológica se encuentran como compuestos estables, sin embargo, las interacciones que se llevan a cabo en los electrones de las células, pueden romper los enlaces covalentes y dar lugar a electrones desapareados, ocasionando las especies químicas denominadas radicales libres (Quintamar, 2009).

Los radicales libres son muy reactivos y forman especies reactivas oxigenadas con electrones desapareados que sustraen electrones de otros átomos o moléculas estables iniciando y propagando una reacción en cadena que provoca efectos nocivos. La formación de radicales libres se ve favorecida por la presencia de oxígeno y de luz ultravioleta, condiciones a las que están sometidas las plantas (Rivero, 2006 y Quintamar, 2009).

La utilización de compuestos antirradicales, compuestos antioxidantes, evita la formación de especies reactivas oxigenadas cediendo átomos de hidrógeno de forma que se neutralizan los radicales libres. Con ello se impiden los efectos nocivos, tales como, la oxidación de lípidos y otras moléculas, (Rivero, 2006), y los daños generados en el organismo, tales como, enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardíacas, artritis, aceleración del envejecimiento, etc (Quintamar, 2009).

La capacidad antioxidante no viene dada por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes; en ella influyen el microambiente en que se encuentra el compuesto y las interacciones de los compuestos entre sí, pudiéndose producir efectos sinérgicos o inhibitorios (Kuskoski, 2005). A su vez, la composición en *Brassica* es variada, y por tanto la capacidad antioxidante varía entre especies, variedades y ecotipos, e incluso dentro del mismo ecotipo con factores como las condiciones de cultivo y el tipo de suelo, los fertilizantes, la situación geográfica, el momento de recolección o la parte de la planta (Armesto et al., 2012).

Actualmente hay un creciente interés en el estudio de los compuestos fenólicos, debido a su capacidad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres, así como de la vitamina C y de los glucosinolatos.

El número de sustancias fitoquímicas que presentan actividad antioxidante es ciertamente elevado y se encuentran presentes en la mayoría de los alimentos. En plantas, podemos encontrar con mayor frecuencia el ácido ascórbico (vitamina C), el glutatión, la melatonina, los tocoferoles, los carotenoides y los compuestos fenólicos (Armesto et al., 2012). En el caso de las brásicas, la vitamina C y los compuestos fenólicos suponen aproximadamente un 80 % de la actividad antioxidante. (Hagen et al., 2009).

1.6.2. *Parámetros de calidad nutricional mineral*

Los parámetros de calidad nutricional dependen de la composición presente en el alimento respecto a su contenido de energía, agua y cenizas. En plantas, un 90-95 % del peso seco está constituido por C, H y O, que obtienen del CO₂ y del agua; mientras que el 5-10 % corresponde a la fracción mineral, siendo muy diverso su contenido. Las brásicas en particular, presentan un

bajo contenido en grasa y alto contenido en fibra, como el resto de hortalizas, y en concreto, un alto contenido mineral en potasio, magnesio, manganeso, hierro, zinc y calcio (Cartea, 2007).

Los minerales son sustancias que no aportan energía, pero poseen una importante función reguladora. No pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser adquiridos por la dieta.

Los minerales adquieren cada vez mayor importancia dentro de la legislación alimentaria, la cual, aporta parámetros máximos y mínimos del contenido de un mineral o compuesto que debe estar presente en los distintos tipos de alimento, por lo que es importante conocer las cantidades de estos minerales presentes en cada alimento. Por otra parte, los minerales confieren propiedades de protección frente a enfermedades, así como los compuestos bioactivos.

En función de las cantidades de elementos esenciales necesarios para el organismo, se clasifican en dos grupos, los macroelementos (Na, K, Ca, Mg, Cl, S, N y P) y los microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn, I, F, Se, Cr, Mo, Co, Ni). Que sean requeridos en mayor o menor cantidad, no indica de menor importancia puesto que son esenciales para los organismos. Los elementos minerales principales (macroelementos) son esenciales para los seres humanos en cantidades mayores a 100 mg /día. Y, los elementos traza, también llamados oligoelementos o microelementos, son esenciales en concentraciones de menos de 100 mg /día (FAO, 2020); mientras que los vegetales los requieren en cantidades de entre 0,01 a 0,5 ppm. Los macroelementos constituyen aproximadamente el 99,5% de la materia seca de los tejidos vegetales, mientras que los microelementos forman parte del 0,03%.

Otros investigadores proponen que los elementos esenciales deben clasificarse conforme a sus funciones bioquímicas y fisiológicas (Stipanuk y Caudill, 2018). Por lo que dichos elementos se clasifican en cuatro grupos básicos; como nutrientes que forman parte de los compuestos orgánicos (N y S), nutrientes importantes en el almacenamiento de energía o en la integridad estructural (P, Si y B), nutrientes que aparecen en forma iónica (K, Ca, Mg, Cl, Mn y Na), y nutrientes implicados en reacciones Redox (Fe, Zn, Cu, Ni y Mo). Por otro lado, también se pueden mencionar como elementos estructurales principales (C, H, O) o elementos estructurales accesorios (S, N, P), según su importancia para formar compuestos específicos como aminoácidos y fosfolípidos. Sin embargo, la clasificación más extendida es en función de las cantidades requeridas.

La composición del contenido mineral en frutas y hortalizas, puede variar en el mismo alimento según los procesos llevados a cabo desde las prácticas agronómicas, es decir, en función de las condiciones ambientales, el manejo de los cultivos, la fertilización, el aporte hídrico, etc., hasta el cocinado. Por otro lado, el contenido de los mismos también va a depender cualitativa y cuantitativamente de la información genética de cada planta y de la edad del tejido, puesto que una hoja joven probablemente contendrá mayor contenido mineral de elementos móviles que una hoja vieja.

En general, las *Brassicas* son fuente en muchos minerales como el calcio, hierro, magnesio y manganeso (Miyazawa et al, 2005); siendo el brócoli el que presenta mayores contenidos de minerales esenciales para los seres humanos en comparación con otras hortalizas y brásicas (Kmieciak et al, 2007). A modo de ejemplo, en la tabla 1, se muestra una comparación entre la diversidad del contenido mineral en diferentes tipos hortalizas (Astiasarán, 2003); en ella se observa diferencias para las cantidades de diversos minerales en grupo e incluso de la misma especie.

Tabla 1. Minerales de diferentes tipos de hortalizas (mg/100g fresco). Según Belitz y Grosch (Astiasarán, 2003)

Clase de hortaliza	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Co	Cu	Zn	P	Cl	F
Coliflor	328	16	20	17	0,6	0,2		0,1	0,2	54	29	0,01
Judía verde	256	1,7	51	26	0,8	0,5		0,1		37	36	0,01
Guisante verde	296	2	26	33	1,9	0,7	0,003	0,2	3	119	40	0,02
Pepino	141	8,5	15	8	0,5	0,2		0,1	0,2	23	37	0,02
Remolacha roja	336	86	29	1,4	0,9	1,0	0,001	0,2	0,6	45	0,4	0,02
Tomate	297	6,3	14	20	0,5	0,1	0,01	0,1	0,2	26	60	0,02
Col	227	13	46	23	0,5	0,1	0,01	0,1	0,8	28	37	0,01

En la especie *Brassica oleraceae*, cabe destacar los siguientes minerales esenciales más importantes según estudios del contenido mineral en las mismas (De la Rosa et al., 2007; Miyazawa et al, 2005; Cartea et al., 2016): fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, sodio, hierro, manganeso y zinc; descritos a continuación de forma más detallada.

1.6.2.1. Macroelementos

Fósforo (P)

El fósforo, macronutriente primario, es un constituyente del núcleo y esencial para la división celular. Su papel central es en la transferencia de energía.

En plantas, interviene en distintos procesos bioquímicos como la fotosíntesis y las reacciones de los dos fotosistemas, el transporte de carbohidratos, la regulación de enzimas, etc. Se acumula principalmente en las regiones meristemáticas del tallo y raíces, donde las células en división activa tienen más fósforo que las células que han dejado de dividirse; por lo que, siendo un elemento poco móvil en el suelo, su deficiencia se observa en un débil desarrollo en la planta con tonalidades verde-azulado en las hojas. Contribuye al buen desarrollo del sistema radicular, a la floración, al cuajado del fruto y proporciona a la planta una mayor resistencia a las bajas temperaturas.

En humanos, el fósforo es el segundo elemento más abundante en el organismo y la mayoría se encuentra combinado con el calcio en huesos y dientes. Forma parte de todas las células, material genético (ADN y ARN), en biomoléculas de relevancia metabólica (ADP, ATP, ...), algunos hidratos de carbono, lípidos y proteínas. Es necesario para la activación de muchas enzimas y vitaminas, y participa en el metabolismo energético (Stipanuk y Caudill, 2018).

Potasio (K)

El potasio después del nitrógeno, es el segundo nutriente que más necesita la planta para un correcto crecimiento. Se encuentra dentro de la solución de las células de la planta, no se usa en la síntesis estructural de moléculas bioquímicamente importantes y su función más bien es activando enzimas que actúan en el metabolismo de la planta.

Contribuye a mantener la presión de turgencia de la célula, regula el potencial hídrico de las células, participa en el mecanismo de apertura de los estomas durante la transpiración, contribuye al mantenimiento del potencial osmótico celular, neutralización aniónica e importante en la síntesis de los aminoácidos y proteínas.

Como el potasio es móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más viejas, las cuales amarillean hasta secarse.

El potasio, principal catión intracelular, es importante en la nutrición humana. Es necesario en el mantenimiento del balance hidroelectrolítico y de la integridad celular; y, juega un papel importante en la transmisión nerviosa y en la contracción celular (Stipanuk y Caudill, 2018).

Azufre (S)

El azufre, componente de los aminoácidos, es fundamental en la síntesis de las proteínas.

En plantas, como las cebollas, las crucíferas o las leguminosas se requiere en grandes cantidades. Para que sea incorporado a los aminoácidos, proteínas y enzimas, así como en la clorofila, es necesaria su reducción; a su vez, puede volver a ser oxidado por las plantas (SO_4) para ser almacenado. Aunque en algunas ocasiones el azufre atmosférico (SO_2), puede ser incorporado mediante la absorción directa a través de las hojas (Casanova, 2005).

Participa como un ligando en un gran número de enzimas, proteínas y metabolitos secundarios como la sinigrina, y está presente en los lípidos producidos por ciertas plantas como el aceite de mostaza de las especies de *Brassica*.

Es moderadamente móvil dentro de la planta, por lo que sus síntomas de deficiencia empiezan en las hojas jóvenes observándose un amarillamiento, además de retrasar el crecimiento y maduración de la planta.

Magnesio (Mg)

Las concentraciones de magnesio en tejidos vegetales son variables pero más bien altas, puesto que es el componente central de la molécula de clorofila, pigmento que da a las plantas su color verde y lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis; y por tanto, primordial para el proceso de fotosíntesis. Su abundancia sugiere multitud de funciones, principalmente como activador de reacciones enzimáticas

Desempeña un papel importante en la transferencia de fosfatos o nucleótidos, de grupos carboxilos, activador de una gran cantidad de enzimas, es requerido para mantener la integridad de los ribosomas y contribuye a la síntesis de proteínas. Su deficiencia en planta se caracteriza por una clorosis en las hojas viejas, principalmente entre los nervios.

El magnesio en humanos actúa como cofactor de cientos de enzimas intracelulares y es parte integral de la síntesis de ADN y ARN. Participa en la funcionalidad de los músculos y los nervios, la coagulación de la sangre, en el metabolismo de los hidratos de carbono, el funcionamiento del sistema inmunitario y ayuda a prevenir la caries dental (Stipanuk y Caudill, 2018).

Calcio (Ca)

El calcio es imprescindible para la división celular en las zonas meristemáticas, particularmente en el crecimiento y desarrollo de los ápices de las raíces, donde cumple un papel estructural de mantener la integridad de la membrana celular.

A su vez, se utiliza para activar ciertas enzimas involucradas en procesos enzimáticos y hormonales, así como en la absorción de los demás elementos nutritivos. Aporta turgencia celular fortaleciendo con ello la pared celular del fruto y aumentando la resistencia a las enfermedades.

La planta depende del proceso de transpiración para que las raíces absorban el calcio, el cual es transportado y utilizado en el nuevo crecimiento. Factores como la humedad alta o las temperaturas frías, pueden provocar deficiencia de calcio al desacelerar esta transpiración. Debido a su carácter inmóvil y poco soluble, el calcio se acumula en las partes viejas de la planta

y su deficiencia se manifiesta en los tejidos nuevos, los cuales presentan un crecimiento distorsionado.

Es el elemento más abundante en el organismo. La mayoría de calcio se encuentra formando parte de los huesos y dientes, pero también interviene en la función inmunitaria, en la contracción y relajación muscular, en la función nerviosa y en la regulación de la permeabilidad de las membranas, de la presión arterial y de la coagulación sanguínea (Stipanuk y Caudill, 2018).

Sodio (Na)

El sodio no es un elemento esencial para las plantas, pero puede ser usado como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila. En algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua.

El sodio es el principal catión de los líquidos extracelulares del organismo humano, y es necesario para la transmisión nerviosa y para la contracción muscular (Stipanuk y Caudill, 2018).

1.6.2.2. *Microelementos*

Hierro (Fe)

El hierro es un microelemento esencial que forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxido-reducción

En las hojas, casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, y aunque no se usa en la síntesis de la clorofila, es esencial para su formación. Por otro lado, participa en reacciones de óxido-reducción en proteínas y ayuda a transportar el oxígeno necesario para el metabolismo celular.

Los síntomas de deficiencia aparecen principalmente en las hojas jóvenes al ser un elemento inmóvil, observándose amarillamiento internerval de las hojas, poco desarrollo de las yemas y escasa floración.

La mayor parte del hierro del cuerpo humano se encuentra formando parte de dos proteínas: la hemoglobina y la mioglobina. Éste, desempeña un papel importante en la transferencia de oxígeno a través del torrente sanguíneo como componente de la hemoglobina e interviene en la respiración celular, glicolisis, oxidación de ácidos grasos y síntesis de ADN (Stipanuk y Caudill, 2018).

Manganeso (Mn)

La función principal del manganeso, microelemento esencial, es la activación de enzimas.

En plantas, es uno de los elementos que más contribuyen al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. Participa para iniciar el transporte de electrones de fotosíntesis en las reacciones del fotosistema II, es responsable de la fotólisis del agua y tiene funciones de activación de numerosas enzimas. También interviene en la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico, el alargamiento celular en la raíz y la resistencia a patógenos de la misma. Y, se observa generalmente un amarillamiento entre las nervaduras de las hojas cuando se origina una deficiencia.

En el cuerpo humano, el manganeso es constituyente de ciertas enzimas; su deficiencia produce pérdida de peso, dermatitis y náuseas; y se cree que participa en funciones sexuales y reproductoras (Stipanuk y Caudill, 2018). .

Zinc (Zn)

El zinc (Zn), micronutriente esencial, es un componente de muchas enzimas, además de participar en el proceso de activación de enzimas.

En plantas, juega un papel clave en la formación de clorofila, así como la síntesis de proteínas y en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. Ayuda a las plantas a resistir las bajas temperaturas y es fundamental en la formación de auxinas, las cuales regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuya deficiencia provoca acortamiento de los entrenudos, además de presentar clorosis en las hojas más jóvenes, debido a que es un elemento inmóvil.

En personas, juega un papel importante en la transferencia de oxígeno a través del torrente sanguíneo como catalizador de una multitud de enzimas, necesario para producir proteínas y material genético; por lo que se considera muy importante en el embarazo y desarrollo fetal (Stipanuk y Caudill, 2018).

1.7. Evaluación organoléptica y panel de cata

La cata o evaluación organoléptica de un alimento, es un método científico que utiliza los sentidos de la vista, olor, gusto y tacto para examinar las propiedades que influyen en la calidad organoléptica del mismo. La realización de una cata consiste en identificar y valorar las características organolépticas y expresar la satisfacción percibida por los consumidores tras su degustación.

Existen tres tipos de pruebas gustativas: afectivas, discriminatorias y descriptivas. Las pruebas afectivas expresan el grado de aceptación y satisfacción del producto, las cuales se pueden realizar con panelistas inexpertos. Las pruebas discriminatorias no requieren conocer el afecto por el producto, sino la existencia y magnitud de la diferencia entre las muestras. Y, las pruebas descriptivas establecen descriptores en los que se definen las características sensoriales, los atributos individuales y generales del producto, y su grado de aceptación para poder evaluar la apreciación de las mismas y la diferencia entre muestras.

La caracterización organoléptica es un paso previo y orientativo cuando se quiere poner en valor un producto.

La evaluación organoléptica debe realizarse en función de un panel de cata que atienda a las cualidades y parámetros del producto alimenticio a analizar, como instrumento muy útil para conocer, de manera objetiva y de primera mano, las opiniones y reacciones de los consumidores en relación al producto alimentario. Para ello, profesionales del centro C.P.I.F.P San Lorenzo (Escuela de Hostelería) de Huesca desarrollaron un proceso de evaluación de las cualidades organolépticas específico para las muestras de bróquil a analizar, incluyendo las partes que se desperdician para su consumo habitual con su correspondiente panel de cata adaptado a dichas partes y al producto. El modelo seleccionado para dicha evaluación es el análisis organoléptico descriptivo.

Los análisis sensoriales descriptivos son las herramientas más sofisticadas en el campo sensorial. En las pruebas sensoriales descriptivas, los jueces establecen descriptores para las características sensoriales de un producto (aspecto, olor, sabor, textura y gusto), definen las propiedades del alimento (distintas partes comestibles o ingredientes) e intentan medirlas estableciendo una escala de valores que facilitará la evaluación del grado de aceptación del producto y sus partes, así como la diferencia entre productos. En estas pruebas, no son

importantes las preferencias o aversiones de los panelistas, sino cuál es la magnitud o intensidad de los atributos del alimento; y su fiabilidad requiere de ocho a doce panelistas (Ramírez, 2012).

1.8. Objetivos

Este Trabajo Fin de Estudios tiene como objetivo general estudiar los compuestos fitoquímicos, el contenido mineral y evaluar las características organolépticas de la colección de bróquil conservada en el Banco de Germoplasma del CITA.

Para la consecución del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el contenido de los siguientes compuestos fitoquímicos: fenoles totales, flavonoides totales, glucosinolatos totales, vitamina C y actividad antioxidante.
- Determinar el contenido de los siguientes elementos: S, P, K, Fe, Mg, Ca, Mn, Zn y Na.
- Evaluar las cualidades organolépticas de las entradas a estudio

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal y diseño experimental

2.1.1. Material vegetal

El material vegetal para este proyecto lo constituyen 13 entradas de bróquil seleccionadas de la colección de brásicas que se conservan en el Banco de Germoplasma Hortícola de Zaragoza, más dos entradas testigo, una de brócoli de variedad comercial 'Partenon' procedente del mercado local, y una entrada de bróquil pellado de Oliván cultivado en el recinto del CITA.

El brócoli se escogió como testigo debido a que es la variedad de *Brassica oleracea* con mayores contenidos de principios bioactivos referenciados de esta especie. (López et al., 2017). El bróquil pellado de Oliván se escogió como testigo para contrastar las diferencias del cultivo en diferentes tipos de suelo.

Las 13 entradas a considerar en el estudio se recogen en la tabla 2, siendo siete de ellas pertenecientes a la tipología bróquil verde y seis a la tipología bróquil pellado.

Tabla 2. Entradas, numeración, nombre, tipología y localidad de prospección de la colección de bróquil a estudio.

ENTRADA	REF. BGHZ	NOMBRE	TIPOLOGÍA	LOCALIDAD DE PROSPECCION
BP1	NC4548	B. DE BARBASTRO	PELLADO	BARBASTRO
BP2	NC5007	B. DE BARBERETA	PELLADO	HUESCA
BP3	BGHZ2636	B. PELLAU BINEFAR	PELLADO	HUESCA
BP4	BGHZ2636	B. PELLAU DE OLIVAN	PELLADO	HUESCA
BP5	BGHZ6685	B, DE HIJOS	PELLADO	BINEFAR
BP6	BGHZ6687	B, PELLADO DE AYERA	PELLADO	LOPORZANO
BV1	NC5008	B. VERDE BARBERETA	VERDE	HUESCA
BV2	NCHU004	B. VERDE ARBANIES	VERDE	LOPORZANO
BV3	BGHZ2638	HIJIAU VERDE	VERDE	HUESCA
BV4	BGHZ3021	B. HIJUDO	VERDE	BARBASTRO
BV5	BGHZ4057	B. HIJUDO	VERDE	CALATAYUD
BV6	BGHZ6686	B. VERDE	VERDE	AZLOR
BV7	BGHZ6686	B. HIJUDO	VERDE	BARBASTRO

2.1.2. Diseño experimental

La distribución de las plántulas en campo siguió las premisas de un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones por entrada y 14 plantas por repetición.

Los semilleros se sembraron en bandejas de alveolos la semana 25 de 2018. El transplante en campo se realizó en una parcela del CPIFP Montearagón la primera semana de septiembre, cuyos parámetros y ubicación se pueden observar en el Anexo 1.

La figura 11 muestra la distribución de las entradas en la parcela. En él, las plantas se colocan en hileras, colocando tres hileras por cada entrada y 14 plantas por hilera. Adicionalmente, para mitigar el efecto borde, se colocan dos hileras de bróquil pellado a los extremos de la parcela de cultivo y dos plantas, también de bróquil pellado, ubicadas a los extremos de cada hilera.

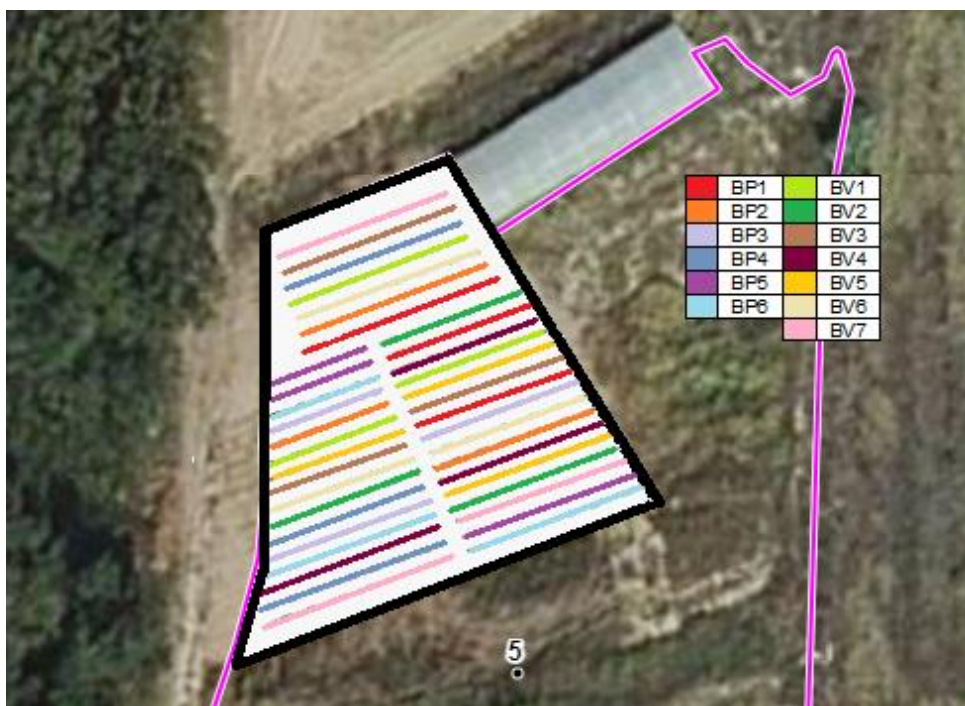


Figura 11. Diseño de plantación de las entradas de bróquil.

Se realiza un riego superficial por surcos y no se realiza ningún tratamiento fitosanitario sobre el cultivo, ni ningún aporte de nutrientes.

La cosecha se lleva a cabo cuando la planta alcanza la madurez fisiológica adecuada; la semana 8 de 2019 para la tipología de bróquil verde, ya que es más precoz; y la semana 9 de 2019, para la tipología de bróquil pellado.

2.1.3. Muestreo

Cuando las plantas alcanzaron la madurez comercial, se muestrearon un total de 12 plantas de cada entrada (3 hileras x (3 + 1)).

Para el análisis de laboratorio, se recogen 3 plantas por repetición para cada entrada y se procesan en el laboratorio 9 del área de Producción Vegetal de la Escuela Politécnica de Huesca. Y, para la evaluación organoléptica, se recogen 3 plantas para cada entrada y se llevan a las cocinas de CPIFP San Lorenzo para su cata.

2.2. Preparación del material vegetal para análisis.

El protocolo de preparación de las muestras elegido para este trabajo, basado en ensayos de trabajos anteriores con el mismo material vegetal (Laguna, 2018), es el siguiente.

Para procesar el material vegetal a ensayo, se desechan las hojas exteriores más grandes y la médula, partes no utilizadas en la alimentación tradicional de estas verduras; se separan los hijuelos centrales formados por un conjunto de hojas que rodean a la pella central, la cual a veces no está presente en el bróquil verde; así como los brotes pequeños e hijuelos laterales que van rodeando la pella central.

Una vez obtenida la parte aprovechable según consumo tradicional, imágenes en el Anexo 2, ésta se corta a un tamaño adecuado para su uso en hervido, propio de su consumo. Se guardaron en bolsas con cierre hermético y se congelaron a -18°C , hasta su posterior tratamiento, la liofilización del material vegetal.

A partir de las muestras congeladas se preparan bolsas con 100 gr de material vegetal, las cuales, se llevan al servicio de liofilización de la Universidad de Zaragoza (UZ) ubicado en la Facultad de Veterinaria.

Las muestras liofilizadas se trituran con un molino de bolas para obtener un tamaño de partícula fino y homogéneo; almacenadas en bolsas con cierre hermético dentro de un recipiente termostático para evitar que absorban humedad y preservadas en congelador a -18°C hasta su análisis.

2.3. Metodología analítica

La metodología analítica se desarrolla en los laboratorios 2 y 3 (Dpto. de Química Analítica, Edificio Loreto, EPSH) y del laboratorio 9 (Dpto. de Producción Vegetal I-Genética, Edificio Guara, EPSH). En el Anexo 3, puede observarse el material y los equipos de laboratorio utilizados para el desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster.

A continuación, se describen los procedimientos empleados para la determinación de fenoles totales, flavonoides totales, vitamina C, capacidad antioxidante, glucosinolatos totales y minerales. Dichos métodos analíticos, requieren una etapa previa de extracción o mineralización, seguida de una técnica analítica adecuada (Espectrofotometría) para su cuantificación.

Para la determinación de los compuestos fitoquímicos y la actividad antioxidante se siguen los procedimientos basados en ensayos de trabajos anteriores con el mismo material vegetal (Sonia, 2019), a excepción de la determinación de la vitamina C

Todos los análisis se llevan a cabo en el laboratorio 2 del Departamento de Química Analítica de la EPSH.

2.3.1. Método de extracción para la determinación de compuestos fitoquímicos y actividad antioxidante.

El tipo de disolvente, la temperatura y el tiempo, pueden influir en la extracción de los compuestos fitoquímicos objeto de estudio que suelen extraerse utilizando agua y/o disolventes orgánicos polares como metanol, etanol, acetonitrilo o acetona, debido al carácter hidrosoluble de los mismos. El método seleccionado consiste en una maceración del material vegetal liofilizado en metanol al 80% (Laguna, 2018)

Para ello, se toman 0,2 gramos de muestra liofilizada en un tubo de ensayo, se agregan 5mL de metanol al 80%, se agita con un vortex durante 20 segundos y se colocan dentro de una estufa en la que permanecerán toda la noche a una temperatura de 20°C en oscuridad. A la mañana siguiente, se agitan de nuevo los tubos de ensayo con ayuda del vortex durante 20 segundos, se centrifugan a 3000 rpm durante 45 minutos y se recoge el sobrenadante previamente filtrado, con ayuda de filtros con tamaño máximo de poro de $0,45\mu\text{m}$, en viales; los cuales, se guardan en el congelador a -18°C para la realización de los análisis posteriores (figura 12)

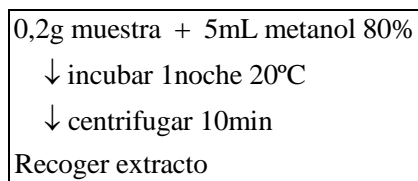


Figura 12. Esquema del procedimiento de extracción de compuestos fitoquímicos en muestras de bróquil

2.3.2. Determinación del contenido de fenoles totales

Para la determinación de fenoles totales se aplica el método espectrofotométrico uv/vis colorimétrico de Folin-Ciocalteu, basado en la oxidación de los fenoles por este agente reductor.

Se toman 0,5 mL de extracto metanólico (apartado 2.3.1) depositándolo en un tubo de vidrio ámbar de 15 mL de capacidad; a este tubo se adicionan 0,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu 2M y 8 mL de agua destilada. La mezcla se agita manualmente 30 segundos y se deja 5 minutos en un baño de ultrasonidos. Transcurrido ese tiempo se añade 1mL de una disolución de carbonato sódico (Na_2CO_3) al 20% y tras agitar el tubo manualmente se deja incubar 30 minutos a temperatura ambiente en la oscuridad para asegurar la reacción. Por último, se mide la absorbancia de la disolución resultante de color azul a una longitud de onda de 760 nm frente a un blanco preparado con 0,5 mL de metanol al 80% (figura 13)

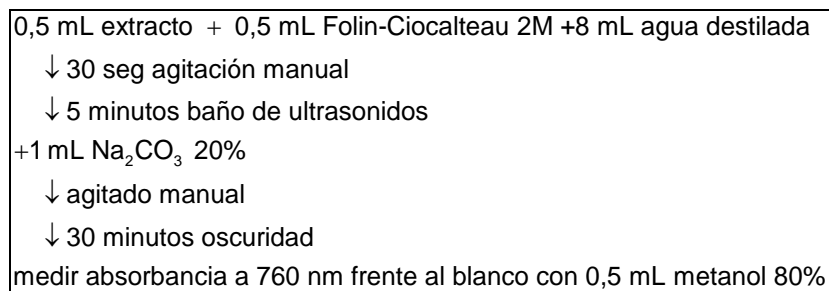


Figura 13. Esquema del procedimiento para la determinación de fenoles totales.

Para la calibración se han utilizado patrones de ácido gálico en un rango de trabajo de 2 a 20 mg/L siguiendo el mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado a, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

Los resultados de fenoles totales se expresan en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco de muestra (mg EAG/g muestra).

2.3.3. Determinación del contenido de flavonoides totales

Para la determinación de flavonoides totales se lleva a cabo el método colorimétrico del cloruro de aluminio desarrollado por Kamtekar et al., 2014, basado en la formación de un complejo entre el ión de aluminio y los grupos carboxilo e hidróxido de algunos flavonoides con coloración amarilla.

Para ello se toma 0,5 mL de extracto metanólico (apartado 2.3.1), en un tubo de ensayo de vidrio, el cual se diluye al 50% añadiendo 0,5 mL de metanol al 80%. Seguidamente, se añade 4 mL de agua destilada y 0,3 mL de nitrito sódico (NaNO_2). Tras 5 minutos incubando, se añade

0,3 mL de tricloruro de aluminio AlCl_3 al 10%; tras un minuto incubando, se añade 2 mL de hidróxido sódico 1 M (NaOH) y agua destilada hasta alcanzar un volumen final de 10 mL. Finalmente, se mide la absorbancia a 510 nm frente a agua destilada y se prepara el blanco muestra de cada extracto para eliminar las interferencias debidas a la coloración de los extractos (figura 14)

<p>[0,5 mL extracto + 0,5 mL metanol 80%]+4 mL agua destilada+0,3 mL NaNO_2, ↓ 5 minutos incubar +0,3 mL AlCl_3 10% ↓ 1 minuto incubar +2 mL NaOH 1M + 2,4 mL agua destilada ↓ medir absorbancia a 510 nm frente agua destilada</p>
--

Figura 14. Procedimiento para la determinación de flavonoides totales

Para la calibración se han utilizado patrones de quercetina en un rango lineal aproximado de 4 a 30 mg/ L siguiendo el mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado a, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

Los resultados se expresan como mg equivalentes de quercetina por gramo de peso seco de muestra (mg EQ/g muestra).

2.3.4. Determinación de glucosinolatos totales

Para la determinación de glucosinolatos totales, el proceso de preparación, procesado y extracción es de vital importancia, dado que el troceado de la muestra, las altas temperaturas, el tiempo de extracción o el tipo de disolvente pueden activar la enzima mirosinasa, y ésta a su vez, puede descomponer los glucosinolatos presentes en las muestras (Laguna, 2018).

Se selecciona el método espectrofotométrico del tetracloruropaladato de sodio, desarrollado por Mawlong et al., 2017, el cual se basa en la afinidad del paladio por el azufre, cuya reacción cambia de color marrón claro a marrón oscuro y puede ser cuantificada por espectrofotometría de absorción molecular a una longitud de onda de 425nm.

Para ello, se toma 0,15 mL del extracto metanólico, (apartado 2.3.1), en un frasco de vidrio de 10 mL de capacidad; se añaden 0,25 mL de agua destilada y 3 mL de tetracloruropaladato de sodio 2 mM (Na_2PdCl_4). La mezcla se incuba una hora en estufa a 20°C en oscuridad para dar tiempo a que surja la reacción. Pasado el tiempo de incubación se cuantifica la absorbancia a una longitud de onda de 425 nm frente a un blanco de agua destilada. Los análisis se realizan por triplicado para mayor seguridad de una cuantificación correcta (figura 15)

<p>0,15 mL extracto + 0,3 mL agua + 3 mL $\text{Na}_2[\text{PdCl}_4]$ 2mM ↓ incubar 1h 20°C medir absorbancia a 425 nm frente agua destilada</p>

Figura 15. Procedimientos para la determinación de glucosinolatos totales por el método del paladio.

Para la calibración se han utilizado patrones de sinigrina en un rango de trabajo de 13,2 a 88,2 mg/ L siguiendo el mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado a, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

Los resultados de glucosinolatos totales se expresan en mg equivalentes de sinigrina por gramo de peso seco de muestra (mg ES/g muestra).

2.3.5. Determinación de la actividad antioxidante

Para la determinación de la actividad antioxidante de las muestras se aplica el método indirecto del radical DPPH· (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), método más utilizado que consiste en determinar el porcentaje de inhibición de DPPH, y corresponde a la capacidad de las muestras para captar radicales libres de DPPH.

Se toma 1 mL DPPH 0,3 g/L, se añaden 0,2 mL de extracto metanólico (apartado 2.3.1), se deja reaccionar 10 minutos a temperatura ambiente y se mide la absorbancia a 520 nm (figura 16)

0,2 mL extracto + 1 mL DPPH 0,03 g/L
 ↓ 10 minutos T^a ambiente
 medir absorbancia a 510 nm frente a agua destilada

Figura 16. Esquema del procedimiento para la determinación de la actividad antioxidante.

Para calcular el porcentaje de inhibición (%) se aplica la siguiente ecuación:

$$\%I = \frac{AbsControl - AbsMuestra}{AbsControl} \times 100$$

Donde, la AbsControl se refiere a la absorbancia del blanco, utilizando metanol al 80% en lugar de extracto y la AbsMuestra a la absorbancia del extracto de la muestra con la DPPH al cabo de 10 minutos.

Complementariamente, se puede aportar el contenido de actividad antioxidante expresado en mg equivalentes de Trolox/ g de muestra liofilizada (mg ET/ g) Esta determinación requiere de un procedimiento más tedioso debido a la cantidad de pruebas y calibraciones que deben llevarse a cabo; en él, se debe obtener la recta de calibrado de DPPH, las condiciones óptimas de reacción de DPPH y el extracto en función del tiempo para alcanzar el 50% del valor de absorbancia inicial, así como las condiciones óptimas de reacción de DPPH y Trolox en función del tiempo. Sin embargo, todos estos ensayos fueron realizados en un trabajo anterior con el mismo material vegetal (Laguna, 2018), que se han considerado válidos y aplicables a las muestras del presente trabajo; por lo que finalmente, tras aplicar la correlación entre %I y mg Trolox/ g, se ha estimado también la actividad antioxidante en estas unidades.

2.3.6. Determinación del contenido de vitamina C

En el presente trabajo se ha determinado el contenido total de vitamina C expresado como la suma de la forma reducida, ácido ascórbico (AA) y la forma oxidada, ácido deshidroascórbico (ADA), así como el contenido individual de ambas formas.

Existen varios métodos para su determinación, por cromatografía líquida, HPLC, o mediante espectrofotometría (Elbsheer, 2018). En primer lugar, se optó por el análisis por HPLC, tras una serie de ensayos realizados en una de las muestras, los cromatogramas obtenidos presentaban solapamiento de picos y se desestimó a causa de estas interferencias causadas por compuestos extraídos desconocidos.

La determinación de vitamina C resulta problemática por su inestabilidad a lo largo del tiempo. No obstante, hay estudios que indican que la vitamina C presenta mayor estabilidad en el producto en polvo almacenado a una temperatura de 4 °C (Mendoza et al., 2017). Las soluciones de extracción, que incluyen ácido metafosfórico del 3-6 % con ácido acético, sulfúrico o ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), limitan también la destrucción del ácido ascórbico (Elbsheer, 2018). Y alternativamente, se puede añadir un agente reductor, como ditiotreitól (DTT) para reducir la forma ADA a AA (Elbsheer, 2018)

El método seleccionado para su determinación (Zaporozhets, 2002) consiste en una extracción previa de la vitamina C seguida de la medida de absorbancia a 510 nm mediante EAM de la disolución resultante tras la reacción con el reactivo 2,6 Dicloroindofenol; el cual, mide la decoloración del 2,6 diclorofenolindofenol basada en la reducción del mismo por una solución ácida del ácido ascórbico. Para llevar a cabo el procedimiento, se emplea una solución extractante metafosfórico/ácido acético, se emplea el agente reductor DTT y se realizan una serie de pruebas previas para seleccionar la mezcla idónea de estos reactivos y las condiciones más favorables para la extracción en las muestras de bróquil. A continuación, se describe el procedimiento aplicado (figura 17).

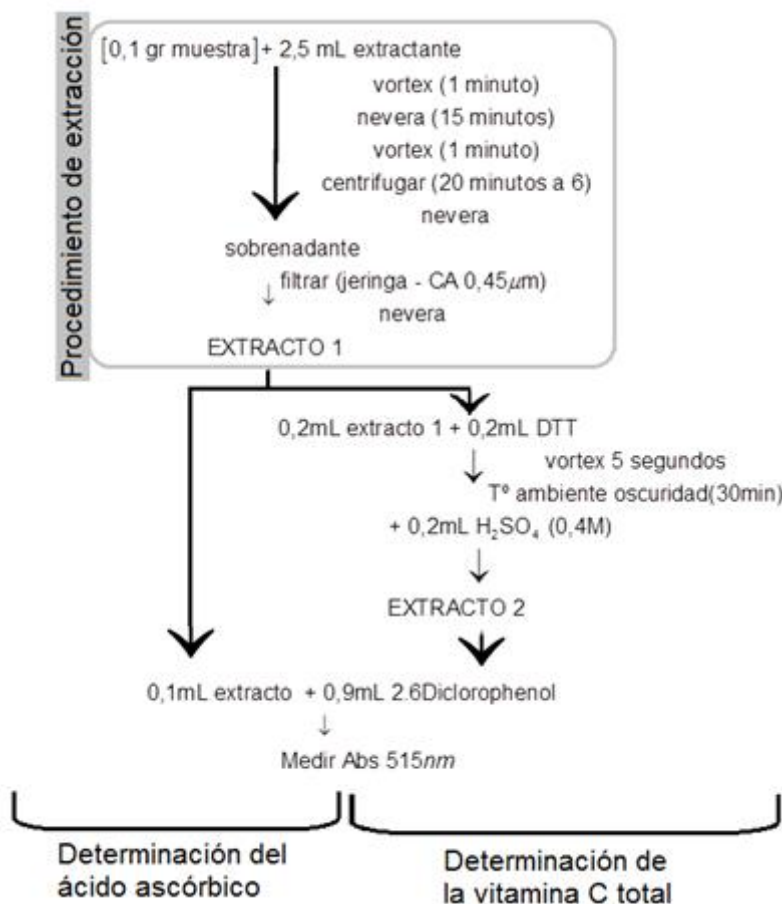


Figura 17. Procedimiento de determinación del ácido ascórbico y la vitamina C total.

Para el proceso de extracción, se cogen 0,1 mg de muestra liofilizada en un tubo de ensayo, se añaden 2,5 mL de extractante (3% de ácido metafosfórico y un 8% de ácido acético), se agita durante un minuto con el vortex y se deja en nevera durante 15 minutos. Pasado ese tiempo se vuelve a agitar con el vortex durante un minuto y se centrifuga. Se toma el extracto, se filtran a través de un filtro de membrana de 0,45 μm y se guarda en nevera. A partir de aquí se aplican los procedimientos, la medición del AA y del contenido total de vitamina C.

Para determinar la forma AA, se toman 0,1 mL de extracto, se añaden 0,9 mL del reactivo 2,6 Dicloroindofenol y se mide la absorbancia de la mezcla en el espectrofotómetro de absorción molecular a una longitud de onda 515 nm.

Para determinar el contenido total de vitamina C, se toman 0,2 mL de extracto, se añaden 0,2 mL del reactivo DTT para transformar el ADA en AA; se mezcla con ayuda del vortex durante 5 segundos y se deja la mezcla a temperatura ambiente y oscuridad durante 30 minutos, tiempo y condiciones necesarias para que se lleve a cabo la reacción. Posteriormente, se añaden 0,2 mL de H_2SO_4 0,4 M, para estabilizar el ácido ascórbico en medio ácido. Finalmente, se sigue el mismo procedimiento descrito realizado para la medición del AA.

Y, para la calibración se han utilizado patrones de ácido ascórbico en un rango de trabajo de 10 a 140 mg/L siguiendo el mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado a, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

Los resultados de vitamina C se expresan en mg equivalentes de ácido ascórbico por gramo de peso seco de muestra (mg EAA/g muestra).

2.3.7. Determinación del contenido mineral (macro y microelementos)

Para la determinación de elementos en material vegetal se suelen emplear métodos de análisis basados en técnicas de espectrofotometría previo tratamiento de la muestra. Este tratamiento se puede llevar a cabo mediante un proceso de calcinación, vía seca, en el que la muestra se somete a temperaturas de alrededor de 500°C y posterior disolución de las cenizas en medio ácido; o mediante un proceso de digestión ácida, vía húmeda, en el que la muestra se descompone con ácidos fuertes a temperaturas elevadas (HCl , HNO_3) (Akinyele 2015, Carvajal, 2012, Kmiecik, 2007). En el presente trabajo, se ha seleccionado la calcinación dado que este tratamiento requiere el uso de una menor cantidad de ácidos y al mismo tiempo permite determinar el contenido mineral total. A continuación, se describe el procedimiento empleado.

Se toma 1 gramo de muestra en un crisol de porcelana y se coloca en una mufla a una temperatura inicial de 200°C. Al cabo de una hora se aumentará la temperatura hasta los 480°C y se mantendrá durante toda la noche. Como resultado se obtienen las cenizas, tras la descomposición de la materia orgánica, que se pesan para determinar el contenido mineral (%) de las muestras. A continuación, las cenizas se transfieren a un vaso de precipitados, se añaden 4 mL de ácido HNO_3 concentrado y 10 mL de agua destilada. La mezcla se calienta (a ebullición) en una placa calefactora y se mantiene hasta la disolución (casi total) de las cenizas. La disolución resultante se filtra, se recoge en un matraz aforado de 25 mL y se enrasa con agua destilada.

Las disoluciones obtenidas de todas las muestras se guardan en nevera hasta su análisis por espectrofotometría. El contenido de azufre y fósforo se determina por Espectrofotometría absorción molecular uv-vis (EAM) y para el resto de elementos (Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn) se emplea la Espectrofotometría de absorción atómica (EAA) o Espectrofotometría de emisión atómica (EEA) a la llama.

A continuación, se detallan los procedimientos empleados.

2.3.7.1. Determinación del contenido de azufre

Para la determinación del azufre total se utiliza el método turbidimétrico de Severiche et al., 2012 con ligeras modificaciones. En las disoluciones muestra, el azufre está en forma de sulfatos, que en presencia de iones bario forma un precipitado en medio ácido (turbidez). Se mide la absorbancia de esta disolución a 420 nm

El procedimiento utilizado consiste en: se toman 0,4 mL de disolución muestra (obtenido según el apartado 2.3.7) en un vial, se añade 1 mL del reactivo Tween precipitante/estabilizante (BaCl_2 0,5M y agar-agar 1,5%) y se lleva a un volumen final de 10 mL con agua destilada. La mezcla se agita, se deja reposar durante 10 minutos para que se lleve a cabo la reacción y finalmente, se mide la absorbancia a 420 nm frente a un blanco preparado con agua destilada.

Para la calibración se han utilizado patrones de sulfato en un rango de trabajo de 5 a 40 mg/L, a los que se les ha añadido mL de HCl 1M seguido del mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado b, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

2.3.7.2. Determinación del contenido de fósforo

Para la determinación del fósforo presente en las muestras se ha utilizado el método colorimétrico descrito por Murphy y Riley, 1962, el cual se fundamenta en la reacción del ion fosfato presente en las muestras con el reactivo molibdato amónico y ácido ascórbico, dando lugar al fosfomolibdato, complejo de color azul intenso que puede ser cuantificado a 880 nm.

El procedimiento utilizado consiste en coger 0,03 mL de extracto (apartado 2.3.7) en un vial de 10 mL al que se le agregan 4,47 mL de agua destilada y 2 gotitas de NaOH 1 M para alcalinizar la disolución y ajustar el pH entre 3 y 10; posteriormente, se añade 0,2 mL de ácido ascórbico, 0,4 mL de molibdato ácido y se lleva la mezcla a un volumen final de 10 mL con agua destilada; se agita y se deja reposar durante 10 minutos para que se lleve a cabo la reacción. Y finalmente, se mide la absorbancia a 880 nm frente a un blanco preparado a partir de agua destilada.

Para la calibración se han utilizado patrones de fosfato en un rango de trabajo de 0,1 a 1 mg/L, siguiendo el mismo procedimiento descrito que para el extracto. En el Anexo 4, apartado b, se muestra una de las gráficas de calibración obtenidas.

2.3.7.3. Determinación del hierro, magnesio, potasio, calcio, manganeso, cinc y sodio.

Para la determinación de estos elementos utiliza el espectrofotómetro de absorción o emisión atómica de llama. Las mediciones se realizan directamente en las disoluciones muestra a la longitud de onda específica para cada elemento previa calibración con disoluciones patrón. Para trabajar en EAA se necesita en cada caso la lámpara de cátodo hueco específica del elemento a medir.

En la tabla 3 se muestran las condiciones de trabajo (longitud de onda, modo absorción/emisión, rango de concentración calibración) para cada elemento, así como las ecuaciones de calibración; y, en el Anexo 4, apartado b, se muestra el resultado de la calibración.

Tabla 3. Condiciones analíticas y coeficientes de correlación de las curvas de calibración

Elemento	Longitud de onda (nm)	Emisión/Absorción	Rango de trabajo	Ecuación de la recta
Fe	248,3	Absorción	0,1 – 7 ppm	$y = 0,0309x + 0,0031$ $R^2 = 0,9991$
Mg	285,2	Absorción	0,2 – 1 ppm	$y = 0,6767x + 0,0175$ $R^2 = 0,9963$
K	766,5	Emisión	0,5 – 5 ppm	$y = 0,1418x + 0,005$ $R^2 = 0,9997$
Ca	422,7	Emisión	0,5 – 10 ppm	$y = -0,0037x^2 + 0,1285x + 0,0045$ $R^2 = 0,9999$
Mn	279,5	Absorción	0,1 – 3 ppm	$y = 0,1277x + 0,0005$ $R^2 = 0,9991$
Zn	213,9	Absorción	0,2 – 1,5 ppm	$y = 0,1613x + 0,0011$ $R^2 = 0,9991$
Na	589,0	Emisión	0,5 – 10 ppm	$y = -0,0076x^2 + 0,1662x + 0,0176$ $R^2 = 0,9988$
			0,5 – 20 ppm	$y = -0,0028x^2 + 0,0998x + 0,0374$ $R^2 = 0,9911$

2.4. Evaluación organoléptica.

El diseño planteado por profesionales del C.P.I.F.P San Lorenzo para el proceso de evaluación organoléptica del bróquil, define la preparación y procesado de las muestras, su cocción, el proceso de evaluación y la interpretación de resultados. Todo el procedimiento para determinar el potencial organoléptico de las muestras de bróquil se realiza en las cocinas del C.P.I.F.P San Lorenzo.

2.4.1. Preparación y procesado de las muestras.

Para determinación del potencial organoléptico, se recolectan 3 plantas de bróquil aleatorias de cada hilera de las plantadas el C.P.I.F.P Montearagón de Huesca para cada una de las 13 entradas de bróquil a analizar, junto con 3 plantas del testigo de bróquil pellado de Ayera procedente del CITA.

La recolección se lleva a cabo la semana 8 de 2019 para la tipología de bróquil verde, ya que es más precoz; y la semana 9 de 2019, para la tipología de bróquil pellado.

Las plantas recolectadas se llevan a las cocinas del CPIFP San Lorenzo donde se acondiciona cada entrada individualmente para la realización de la cata. Para ello, se eliminan las hojas exteriores envejecidas o deterioradas, no aptas para el consumo y se incluyen en la cata tanto las partes de la planta que se consumen habitualmente como otras partes potencialmente consumibles aunque en la cocina tradicional se desprecian. Estas partes son:

- La médula, parte interna del tallo de la planta que se obtiene tras pelar el recubrimiento del tallo.
- Los hijuelos, parte que se consume tradicionalmente, brotes tiernos formados por varias hojas acompañados de pella o no según tipología.
- Los peciolos de hojas tiernas, estos peciolos laterales procedentes de hojas exteriores se prepararon tanto pelados como sin pelar.
- Las hojas tiernas.

En la figura 18 pueden observarse las partes consumibles seleccionadas para la tipología de bróquil verde y para la tipología de bróquil pellado.

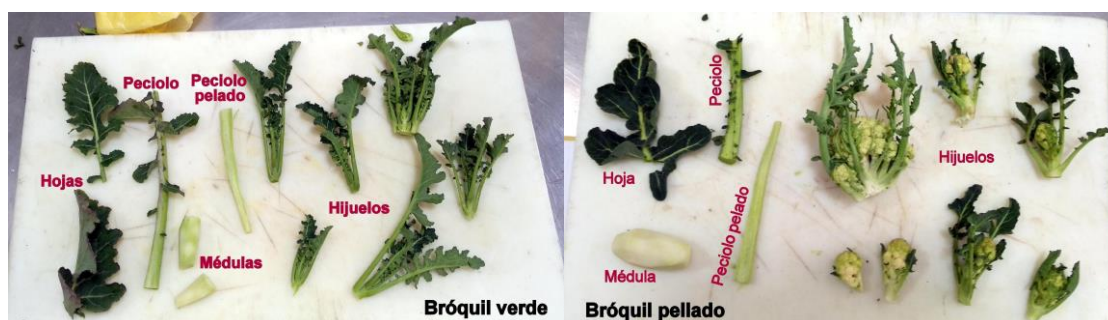


Figura 18. Partes comestibles utilizadas para la evaluación organoléptica del bróquil verde (izquierda) y bróquil pellado (derecha).

Tras la obtención y limpieza de las partes seleccionadas para consumo se procede a la cocción de las muestras, de forma individual para cada entrada. Se añaden 15 gramos de sal a 3 litros de agua en una olla, se lleva a ebullición, y posteriormente, se añaden 100 gramos representativos de las partes seleccionadas, procesadas y limpias para cada entrada. La cocción de las muestras se realiza a una temperatura de 175°C a 2500W de potencia durante 5 minutos. Transcurridos los 5 minutos, se cuecen las partes comestibles guardando parte del caldo de cocción, el cual, también será analizado en cata.

Las partes comestibles se cortan en porciones más pequeñas y adecuadas para la realización de la cata y se preparan en bandejas de aluminio individuales para cada catador, conteniendo una parte representativa de las partes comestibles de una entrada en cada una, tal y como puede observarse en la figura 19, tanto para las entradas de bróquil verde como para las entradas de bróquil pellado.

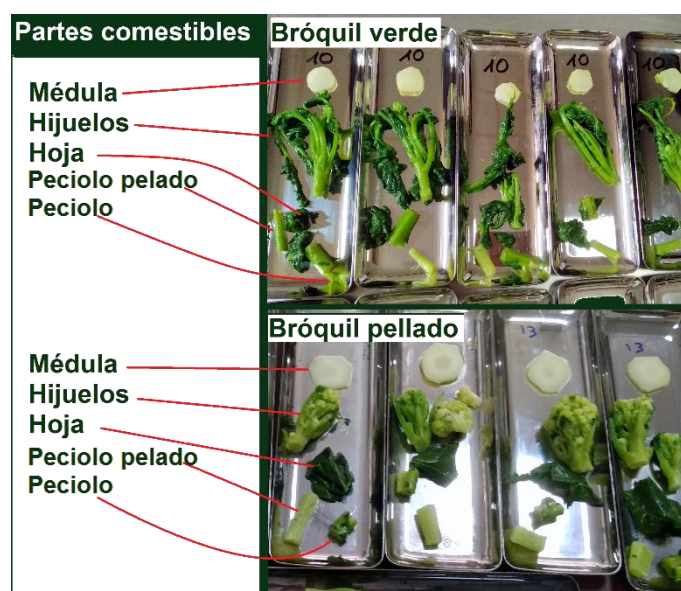


Figura 19. Bandejas preparadas para la evaluación organoléptica del bróquil verde y del bróquil pellado, donde se pueden observar las partes comestibles y sus porciones para llevar a cabo la cata.

Posteriormente, el caldo reservado de la cocción se coloca en vasitos individuales para poder evaluar su potencial como caldo vegetal, figura 20.

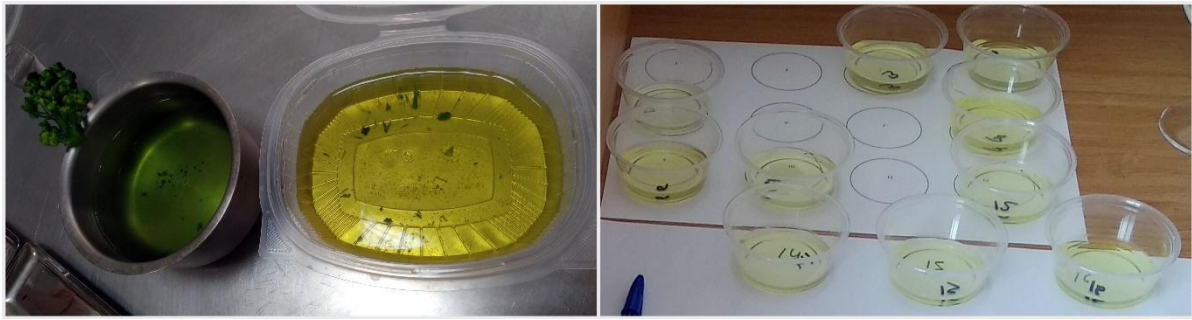


Figura 20. Caldo reservado de la cocción (izquierda) y caldo colocado en los vasitos individuales (derecha)

2.4.2. Diseño del panel de cata

Para la evaluación organoléptica del bróquil, profesionales del CPIFP San Lorenzo elaboraron una ficha modelo de cata específica para dichas muestras, figura 21. En ella, cada panelista debe valorar su apreciación según la vista, olfato, gusto y textura de forma específica para la hoja, el tallo, la pella o hijuelo, la médula y el caldo, y de forma genérica. Las valoraciones de la ficha de cata deben designarse en cada casilla de la ficha como muy buena, buena, comestible, desagradable o incomedible.

BRÓQUIL VERDE

Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza

Referencia						
IMAGEN	HOJA	TALLO	HIJUELOS	CONJUNTO	CALDO	OBSERVACIONES
VISTA						
OLFATO						
GUSTO						
TEXTURA						
IMPRESIÓN GENERAL						

VALORACIÓN	INCOMESTIBLE	DESAGRADABLE	COMESTIBLE	BUENA	MUY BUENA
------------	--------------	--------------	------------	-------	-----------

Figura 21. Modelo tipo de la ficha de cata diseñada para la evaluación organoléptica del bróquil.

Por último, tanto las bandejas como los vasitos se colocan por orden en las distintas cabinas de la estancia destinada para las catas de la Escuela de Hostelería junto con la ficha de cata para cada entrada. En la figura 22 se muestra una cabina de cata para la realización de la evaluación organoléptica del bróquil pellado.



Figura 22. Cabina de cata preparada para la realización de la evaluación organoléptica de las entradas de bróquil pellado.

Para el análisis organoléptico se cuenta con entre 11 y 14 panelistas para cada entrada cumpliendo con el mínimo de panelistas para que el análisis sensorial sea estadísticamente fiable, ocho a doce panelistas según Ramírez, (2012). Los panelistas seleccionados para la elaboración del análisis organoléptico son personal del CPIFP San Lorenzo y de la Escuela Politécnica de Huesca.

2.4.3. Análisis de resultados

Tras recoger las distintas fichas de cata para cada entrada y rellenas por cada catador de forma anónima, se procede a realizar el recuento de puntos según la descripción de la tabla 4, y puesta en valor del promedio de puntuación organoléptica de cada una de las muestras.

Tabla 4. Interpretación de las valoraciones del panel de cata para la obtención de una puntuación numérica por cada entrada.

Descripción	Puntuación
Muy buena	10
Buena	8
Comestible	5
Desagradable	-2
Incomestible	-5

La puntuación final de cada entrada se valora en función de la puntuación promedio obtenida del recuento de todas las fichas de cata y se cataloga como muy bueno si el promedio es mayor a 8, bueno si la puntuación promedio se establece entre 6 y 8, comestible si está entre 5 y 6, desagradable entre 4 y 5, e incomestible inferior a 4.

2.5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se expresan como medias junto con sus desviaciones estándar ($n = 3$) para todos los análisis realizados. Para todo el conjunto de resultados se ha realizado un ANOVA con ayuda del programa SPSS con el fin de ver si existen diferencias significativas o no entre muestras y entre las variables estudiadas.

En los resultados obtenidos se han validado sus varianzas a través de la prueba de Levene, que complementa la aplicación del Análisis de Varianza (ANOVA) para el tratamiento estadístico de los resultados. El grado de semejanza o diferencia de las varianzas, tanto de normalidad como

de homocedasticidad, hace posible la comparación de los distintos resultados mediante el empleo de diferentes pruebas Post Hoc. Por ello, para varianzas semejantes (Levene $p > 0,05$) se ha utilizado Tukey b para la comparación de medias de los resultados a analizar.

Por otro lado, también se han obtenido las correlaciones entre las distintas variables estudiadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson con el fin de observar el grado de dependencia o no entre las distintas variables.

Finalmente, se ha realizado el análisis estadístico de componentes principales para observar los resultados de manera genérica, en función de los parámetros analizados y de las entradas de bróquil a partir de sus componentes principales.

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los distintos parámetros estudiados en este trabajo, es decir, compuestos fitoquímicos, elementos minerales y evaluación organoléptica, así como la correlación entre ellos y su análisis global.

3.1. Resultados y discusión de los compuestos fitoquímicos

Los compuestos fitoquímicos están relacionados con la actividad antioxidante como ya se mencionó en la introducción, por ello, en el presente apartado se muestran los resultados de todos ellos.

3.1.1. Actividad antioxidante

En la figura 23 se muestran los resultados de la actividad antioxidantes expresados como la media del porcentaje de inhibición (%) de todas las entradas y su desviación típica; así como la comparación de las medias obtenida mediante el test de Tukey b.

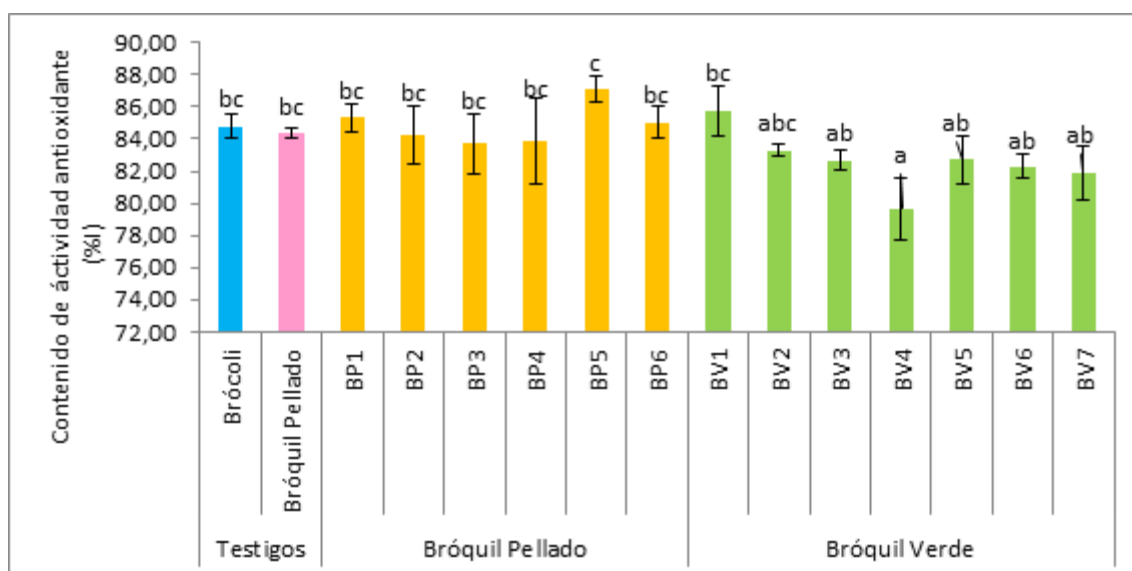


Figura 23. Resultados de la actividad antioxidante expresado como % de inhibición (%) ($\bar{x} \pm sd$) para las muestras de brócoli y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. ($p \leq 0,05$) observadas tras el análisis de la varianza.

En ella, se puede observar que la variabilidad en las entradas de bróquil es reducida; puesto que el análisis estadístico sólo detectó diferencias significativas para la entrada de bróquil pellado BP5 con las entradas de bróquil verde, a excepción de BV1 y BV2; y para la entrada de bróquil verde BV4 con las entradas testigo, las entradas de bróquil pellado y la entrada de bróquil verde BV1.

El máximo valor de porcentaje de inhibición se observa en la entrada de bróquil pellado BP5 con un 87% y el mínimo en la entrada de bróquil verde BV4 con un 79,6%.

Analizando estadísticamente las tipologías por separado, no se observan diferencias significativas para el bróquil pellado; y en las muestras de bróquil verde se observan diferencias significativas, para la entrada BV4 con las entradas BV1 y BV2, y para la entrada BV1 con las entradas BV4 y BV7.

3.1.2. Contenido de fenoles totales

En la figura 24, se muestra la media de los resultados obtenidos, en mg eq. ácido gálico/g de muestra seca (mg AG/g), para cada una de las muestras objeto de estudio. El análisis de la varianza (ANOVA) detectó diferencias significativas entre muestras para un nivel de significación del 95% ($p < 0,001$). En dicha figura también se refleja la comparación de medias obtenida mediante el test de Tukey b.

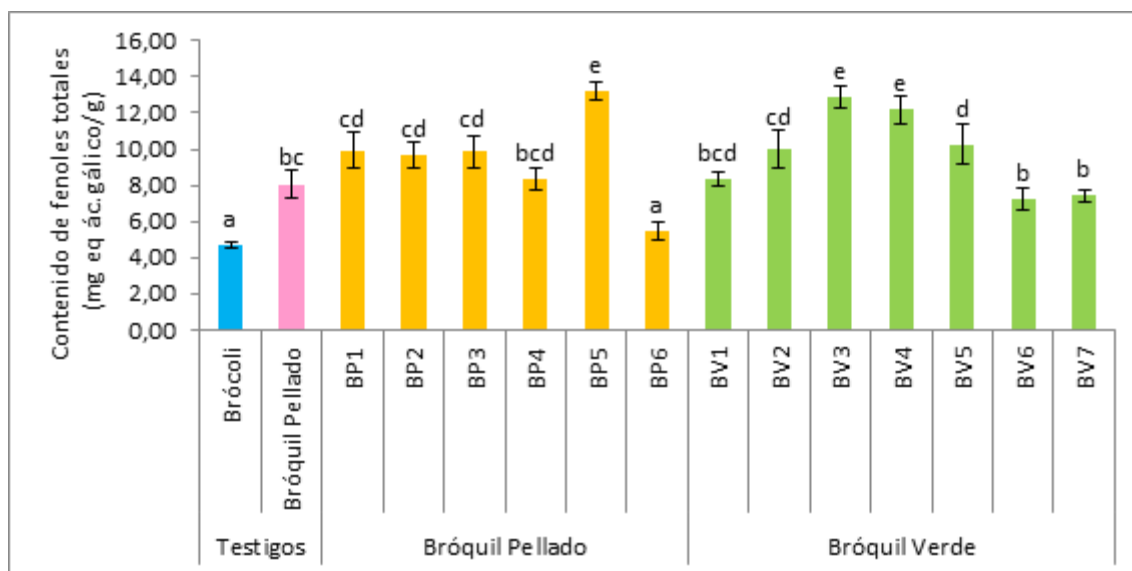


Figura 24. Contenido de fenoles totales ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p < 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

El contenido en fenoles totales varía en un rango comprendido entre 4,69 a 13,21 mg AG/ g. El valor mínimo corresponde al brócoli testigo, mostrando diferencias significativas con respecto a todas las entradas de bróquil excepto BP6. En el conjunto de los resultados, tres entradas se destacan de forma significativa con respecto a las demás por presentar los valores más altos, BP5 (valor máximo), BV3 y BV4.

Cuando se comparan estadísticamente todas las entradas de bróquil pellado entre sí o las de bróquil verde, se observa variabilidad de las muestras en ambos tipos. Para el bróquil pellado, la entrada BP6 se diferencia por tener el menor contenido en fenoles totales (5,49 mg/ g) mientras que BP5 se diferencia por tener el valor máximo del conjunto (13,21 mg/ g). Las entradas restantes no muestran diferencias significativas entre sí. En la tipología de bróquil verde, la variabilidad es más acusada, mostrándose diferencias significativas para las muestras de bróquil verde BV3 y BV4, valores máximos, respecto al resto del conjunto.

3.1.3. Determinación de flavonoides totales

En la figura 25, se muestra la media de los resultados obtenidos, en mg eq. quercetina/g muestra seca (mg EQ/g), junto con su desviación estándar, para cada una de las entradas objeto de estudio, así como la comparación de medias.

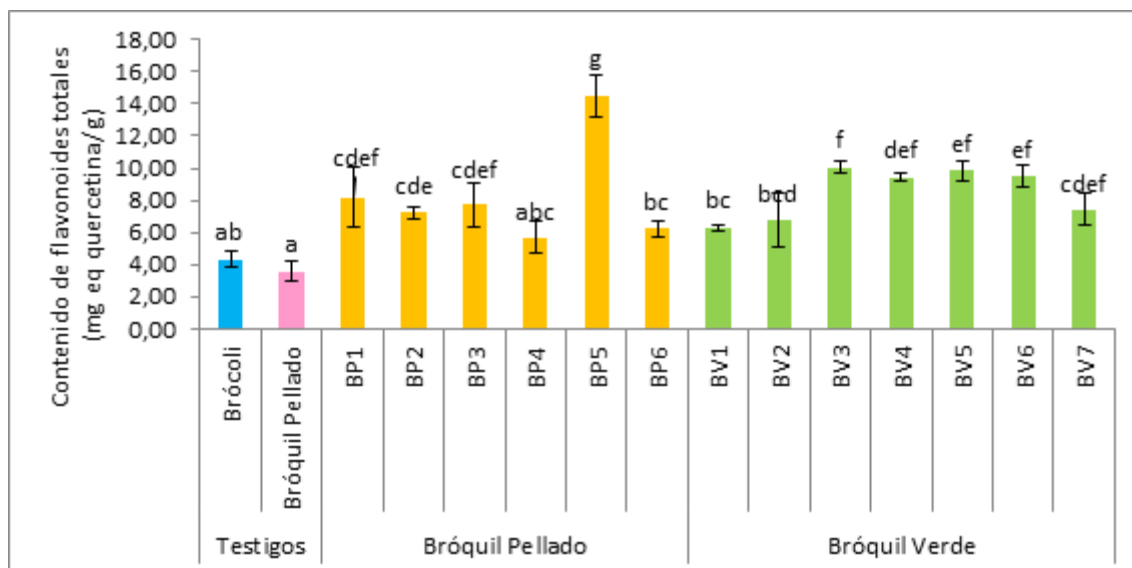


Figura 25. Contenido de flavonoides totales ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

El análisis estadístico muestra diferencias significativas entre las entradas lo que implica variabilidad entre las mismas. Se puede observar que el valor máximo de flavonoides totales corresponde con la entrada de bróquil pellado BP5, con 14,50 mg EQ/ g, y el valor mínimo se corresponde con la entrada BP4 (5,68 mg/ g). Las muestras testigo presentan valores inferiores a los de la colección de bróquil estudiada. Es destacable el contenido máximo de flavonoides totales de la entrada BP5. Dicha entrada presenta diferencias significativas con respecto a todo el conjunto. Los menores contenidos se dan indistintamente tanto en bróquil pellado como en bróquil verde, (entradas BP4, BP6, BV1, BV2) y éstas, no muestran diferencias significativas con respecto al brócoli testigo.

En el caso del bróquil pellado se muestran diferencias significativas entre BP5 y las otras cinco entradas. Por otro lado, en el bróquil verde, las diferencias significativas separan el conjunto en dos grupos: BV1, BV2 y BV7, y el resto.

3.1.4. Determinación de glucosinolatos totales

En la figura 26, se muestra la media de los resultados obtenidos, en mg eq. sinigrina /g muestra seca (mg ES/g), para cada una de las entradas objeto de estudio, así como la desviación típica y el resultado de la comparación de medias obtenida mediante el test de Tukey b.

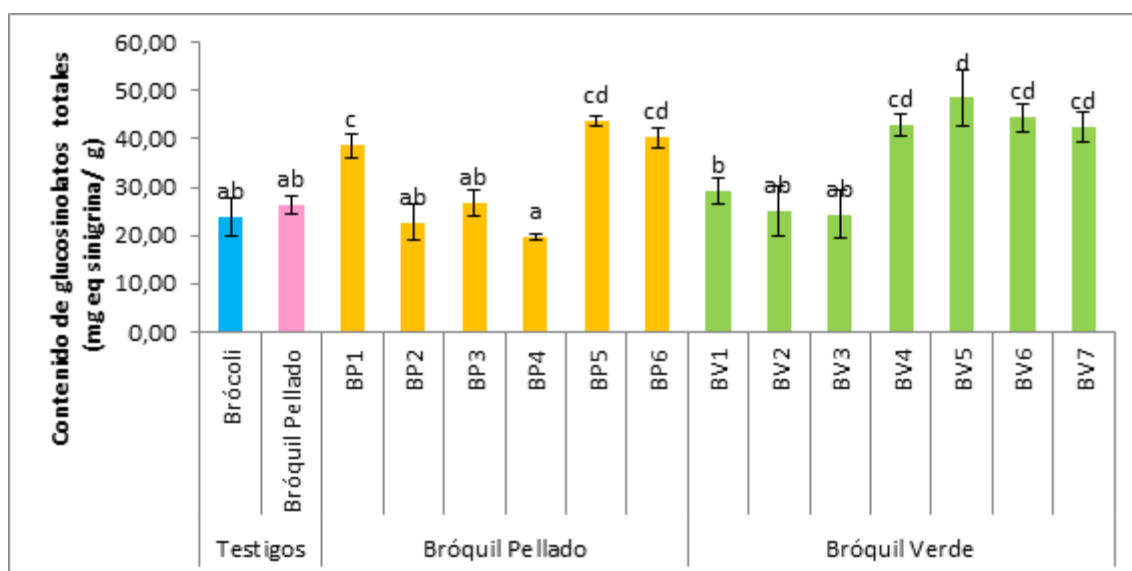


Figura 26. Contenido de glucosinolatos totales ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

Los resultados se encuentran en un rango entre 19,62 obtenido para el bróquil pellado BP4 y 43,7 mg ES/ g de la entrada de bróquil verde BV5. La mayoría de entradas de bróquil presentan valores superiores al brócoli testigo.

El análisis de la varianza detectó diferencias significativas entre las entradas analizadas lo que refleja la variabilidad entre las entradas estudiadas. En líneas generales se pueden observar dos grupos. Por un lado, las entradas BV4, BV5, BV6, BV7, BP1, BP5 y BP6, que recogen los valores más altos del conjunto de resultados; y, por otro lado, las entradas BP2, BP3, BP4, BV1, BV2, BV3 y las entradas testigo, con los valores más bajos del conjunto de datos.

Analizando por separado las tipologías de bróquil verde y bróquil pellado, se encuentran diferencias significativas dentro de ambos grupos; estas diferencias dividen ambas tipologías en los dos grupos mencionados anteriormente.

3.1.5. Contenido de vitamina C

Los resultados de vitamina C obtenidos tras la determinación de la misma en las entradas analizadas en este trabajo se muestran en la figura 27. Dicha figura muestra los valores medios junto con su desviación típica y la comparación de medias entre las entradas. Como ya se explicó en el apartado correspondiente de material y métodos, el contenido medio de vitamina C por entrada se ha calculado sumando los valores medios de ácido ascórbico más ácido dehidroascórbico presente en las muestras. Todos los resultados se expresan en mg eq. ácido ascórbico/ g muestra seca (mg EAAs/g)

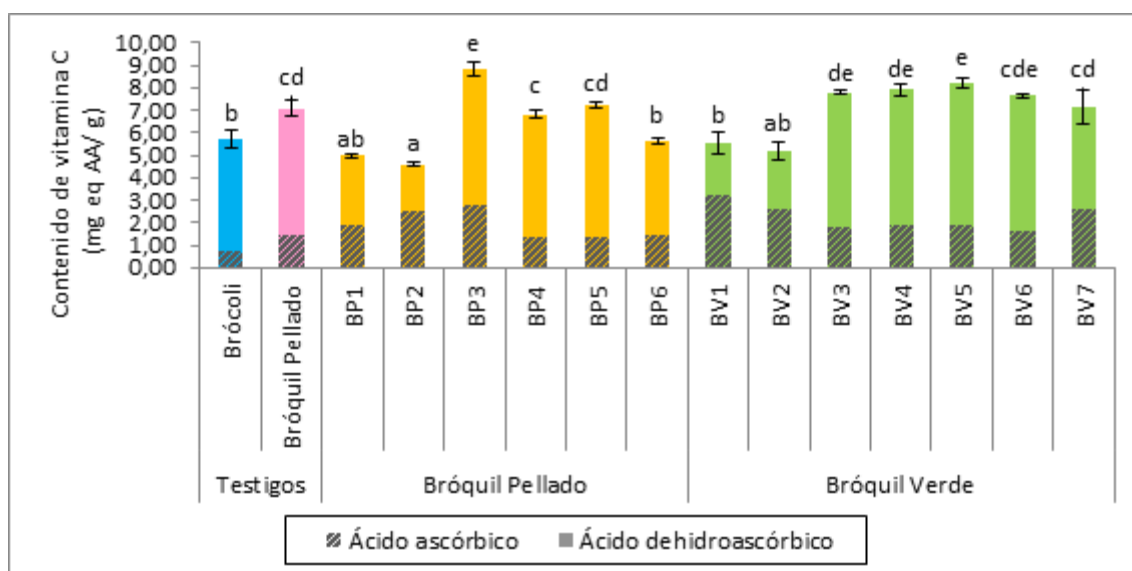


Figura 27. Contenido de vitamina C total ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos, como suma del ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico presente en las mismas. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos (Tukey b, $p \leq 0,001$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

El análisis de la varianza (ANOVA) detectó diferencias significativas entre entradas para un nivel de significación del 95% (Tukey b, $p < 0,001$) para el contenido de vitamina C total.

El análisis estadístico para las tipologías por separado, señala gran variabilidad de las muestras dentro de los mismos; con diferencias significativas más acusadas dentro de la tipología de bróquil pellado.

El contenido de vitamina C total, muestra variabilidad entre entradas aunque no tan acusada como en los resultados anteriores. Los valores más altos de contenido de vitamina C (BP3, BV3, BV4, BV5 y BV6) y más bajos (brócoli testigo, BP1, BP2, BP5, BV1 y BV2) muestran diferencias significativas entre sí y frente a algunas entradas del resto del conjunto.

El máximo contenido de vitamina C total corresponde a la entrada de bróquil pellado BP2, con 4,59 mg EAA/ g; y el mínimo valor a la entrada de bróquil pellado BP3 con 8,45 mg EAA/ g.

Tras realizar el análisis estadístico para la tipología de bróquil verde y bróquil pellado por separado, se detectan diferencias significativas en ambos grupos ($p < 0,001$). Diferenciando 4 grupos para el bróquil pellado: BP1 y BP2 (mínimos resultados); BP6; TBP, BP4 y BP5 (valores más altos); BP3 (máximo resultado); y el resto del grupo. Y, para el bróquil verde se aprecian diferencias significativas en BV1 y BV2 respecto al resto, y en BV5 respecto a BV7.

El contenido de ácido ascórbico, cuyo rango va de 0,70 a 3,19 mg EAAs / g, presenta valores inferiores al contenido de ácido dehidroascórbico presente en las muestras, con valores de 2,11 a 6,30 mg EAA/ g.

Los resultados obtenidos para la entrada de bróquil pellado cultivada en dos localidades, BP4 y TBP, no detectaron diferencias significativas para ninguno de los parámetros fitoquímicos determinados, por lo que parece evidenciar poca influencia del ambiente en estos caracteres.

3.1.6. Discusión de compuestos fitoquímicos

En general, los resultados obtenidos para el contenido de los diferentes compuestos fitoquímicos estudiados en este trabajo presentan gran variabilidad entre las entradas analizadas. Esto puede deberse a que se trata de una colección de bróquil procedente de diversas localidades de Aragón y que tienen características varietales propias tal y como se puso en evidencia en un trabajo previo en el que se evaluaron caracteres morfológicos y agronómicos de la colección de bróquil del BGHZ (Montaner et al., 2018). Por otra parte, también se ha observado variabilidad dentro de las muestras lo que se atribuye a la propia naturaleza de cada una de las entradas. Por tratarse de variedades locales o tradicionales, no han sido sometidas a procesos de selección y mejora genética para su posterior comercialización, por lo que no responden al principio de uniformidad que se exige a las variedades mejoradas comerciales. Eso implica heterogeneidad entre plantas de una misma procedencia o entrada, hecho que se evidencia en la elevada desviación que presentan algunas medias en diferentes parámetros determinados.

Por otro lado, las tipologías de bróquil verde y bróquil pellado se comportan de forma similar a pesar de lo que cabría esperar por la propia naturaleza del material vegetal estudiado. Como ya se ha explicado en la introducción, en términos generales, las muestras analizadas de bróquil verde son mayoritariamente hojas, mientras que el bróquil pellado es una mezcla de hoja e inflorescencia en proporción variable dependiendo de la propia arquitectura de la planta. Cuando se contrastan contenidos en compuestos fitoquímicos entre otras brásicas de hoja o inflorescencia como puedan ser el repollo o la coliflor (Simón et al., 2008, Muțescu et al., 2020, Naguid, 2012, Rosa, 2012) se observan diferencias cuantitativas en dichos compuestos por lo que no se esperaba un comportamiento similar entre ambos tipos de bróquil. Ese comportamiento puede deberse a que las plantas no se desarrollaron en toda su potencialidad dado que las condiciones meteorológicas durante el cultivo en campo no fueron las óptimas. Las intensas lluvias a lo largo de todo el otoño y las escasas heladas condicionaron el desarrollo de la pella, siendo ésta más pequeña de lo habitual. Por ello, las muestras analizadas de bróquil pellado se asemejan a la tipología de bróquil verde.

La determinación de la actividad antioxidante se ha cuantificado en base al porcentaje de inhibición (%I); por tanto, estos resultados pueden ser comparados entre sí, pero no se pueden llegar a contrastar con los datos de otros autores debido a que se trata de un método porcentual válido sólo para comparar resultados obtenidos por el mismo procedimiento. Es por ello que, en base a un estudio preliminar realizado sobre el mismo material vegetal (Laguna, 2018), se aportan los resultados de la actividad antioxidante (tabla 5) en unidades de mg eq. Trolox/g, a partir de la regresión obtenida ($y = 0,0164x - 0,4719$, con $R^2 = 0,9924$) entre las dos formas de estimar dicho parámetro.

Tabla 5. Resultados de la actividad antioxidante expresada en mg eq. Trolox /g.

Testigos		Bróquil Pellado						Bróquil Verde						
Brócoli	Bróquil Pellado	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6	BV7
0,92	0,91	0,93	0,91	0,90	0,90	0,96	0,92	0,93	0,89	0,88	0,83	0,88	0,88	0,87

Para el contenido de actividad antioxidante, los resultados han mostrado poca variabilidad entre todas las entradas, con rango de 0,83 a 0,96 mg ET/ g. Estos resultados son similares a los de otros autores para distintos tipos de brásicas: 0,70-0,93 mg ET/ g en coliflor (Simón et al., 2008), de 0,30 a 1,60 mg ET/ g en brócoli (Branca et al. 2017); 0,87, 0,51 y 0,71 mg ET/ g en hojas, tallos e inflorescencias de brócoli respectivamente (Rivera et al., 2021), 0,70 mg ET/ g en brócoli y 0,29 a 0,79 mg ET/ g en bróquil (Laguna, 2018).

En fenoles totales, el valor mínimo con 4,69 mg AG/ g se ha obtenido en el brócoli, una de las variedades del género *Brassica* mejor considerada por sus propiedades bioactivas. El brócoli testigo presenta valores similares a la entrada de bróquil pellado BP6, e inferiores a la colección de bróquil, hecho que demuestra mayores concentraciones de fenoles en las variedades de bróquil. Los resultados obtenidos son superiores a los reflejados en la bibliografía para otras brásicas como la berza gallega, con valores medios de 3,52 mg EAG/g (Martínez et al., 2010); o valores de 2,4 a 3,6 mg EAG/g (Simon, 2008) y 3,84 (Mulețescu et al., 2020) para coliflor; y similares o mayores a otros autores en brócoli: 8,12 a 11,74 mg EAG/g (Domingues et al., 2010), 8,86 mg EAG/g (Gliszczynska et al., 2006) y 3,8 a 6,1 mg EAG/g (Thomas et al., 2018).

Por otro lado, la gran variabilidad de los resultados y la presencia de una alta cantidad de fenoles en las muestras de bróquil pellado en nuestro caso, en contra de lo esperado, se debe a un alto contenido de hoja en las muestras debido a un fugaz desarrollo de las pellas.

Para el contenido de flavonoides totales, los resultados en brócoli son 4,32 mg EQ/ g. Estos resultados se pueden equiparar a otros datos de brócoli de otros artículos: 6,00-11,01 mg EQ/g (Naguid, 2012), 6,60-8,60 mg EQ/g Rodríguez (2013), 1,10-9,60 mg EQ/g Rodríguez (2017) y 2,4-5,4 (Thomas et al., 2018). Sin embargo, otros autores dan resultados dispares e inferiores a los obtenidos: 1,12 mg EQ/g Radosevic (2016) y 0,06-0,10 mg EQ/g Krumbein (2007).

Los flavonoides totales obtenidos, de 3,58 a 14,5 mg EQ/ g, son similares o mayores a los resultados anteriormente mencionados. Y, la fluctuación de los valores también es similar a los mismos o a otros trabajos para distintas variedades de col; concretamente, en el trabajo realizado por Mageney (2017) se dan valores con un rango de entre 1,03 a 13,36 mg EQ/g para un conjunto de 28 variedades cultivadas de *B. oleracea* var. *sabellica* comúnmente conocida como kale. Los flavonoides, además de intervenir en la protección de la radiación ultravioleta, dado que la síntesis de flavonoides es una respuesta de defensa de las plantas para protegerse de dicha radiación (Martínez, 2002), son los responsables de la coloración blanquecina, crema o amarillenta de los vegetales. Dado que todas las plantas han estado cultivadas en las mismas condiciones ambientales, la tendencia en el comportamiento en el contenido en flavonoides en bróquil induce a pensar que las diferencias detectadas tienen un origen genético.

Los resultados para el contenido de glucosinolatos totales, (19,6 a 48,51 mg ES/ g) son comparables con datos bibliográficos: Rosa (2001) obtiene de 37,73 a 226,44 mg ES/g para glucosinolatos en brócoli, 32,20-52,58 mg ES/g en Gilabert (2013), 41,51-51,33 mg ES/g Fernández (2015), y 41,28 mg ES/g en Martínez (2007) y 25,15-50,32 mg ES/g Gallaher (2012); mientras que Rosseto (2013) obtiene resultados más bajos para glucosinolatos totales de 0,17 a 0,5 mg ES/g). Estas fluctuaciones en las mismas entradas o entre plantas de la misma familia botánica, podrían ser debidas a la propia naturaleza de los glucosinolatos. Su síntesis en plantas depende de la respuesta al ataque de diversas plagas, así como de las condiciones ambientales del cultivo (Rincón et al., 2013).

En la biografía consultada la variación de glucosinolatos también es acusada en cultivos de la misma procedencia; estas diferencias en contenido de glucosinolatos puede deberse a factores

ambientales, como la temperatura y la irradiación. Según Rincón et al. (2013) en *B. oleracea* una temperatura de entre 7-13°C, cómo es el caso de las condiciones en campo en cultivo de invierno, aumentan el contenido de glucosinolatos en planta. Así mismo, la irradiación total también es determinante, puesto que a una mayor irradiación se da un mayor contenido de glucosinolatos. En el presente trabajo, podemos observar que la mayoría de entradas de bróquil tiene resultados superiores a la entrada de brócoli testigo en el contenido de glucosinolatos; este hecho corrobora lo anteriormente mencionado, puesto que el cultivo del bróquil se da en las condiciones de campo mencionadas.

Finalmente, para el contenido de vitamina C, las entradas de bróquil, en general, presentan contenidos superiores o similares al brócoli testigo. Los resultados en brócoli, 5,64 mg EAA/ g, son equiparables a los datos de otros autores en brócoli o en coliflor: 5,2 mg EAAs/ g (Naguid, 2012), 3-6,4 mg EAAs/ g (Branca, 2018), 6,00 mg EAAs/ g (Muțescu et al., 2020), 8,70 mg EAAs/ g (Muțescu et al., 2020). Por ello, estos datos refuerzan la idea del alto contenido en vitamina C del bróquil de Huesca

Al mismo tiempo, dentro de las variedades de bróquil se observa una tendencia de contenidos más altos de vitamina C en las muestras de bróquil verde que en las muestras de bróquil pellado; esto puede ser debido a que estas variedades presentan mayor contenido de hoja y que el almacenamiento de vitamina C se produce principalmente en los cloroplastos (Pereira, 2021).

El alto contenido de ADA hallado en las muestras objeto de estudio puede estar relacionado con el tiempo de conservación de las mismas hasta la realización del análisis. Así lo corrobora el estudio de Mazurek (2012), donde el contenido de ácido dehidroascórbico representa un 10% del contenido total de vitamina C en el análisis de muestras de brócoli tras el primer día de almacenamiento, pudiendo alcanzar un 30 % al cabo de una semana de almacenamiento.

Con objeto de establecer las interacciones entre los parámetros fitoquímicos determinados, se ha aplicado un análisis de correlación. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Matriz de correlación (Coeficientes Pearson) entre los compuestos fitoquímicos

	Fenoles	Flavonoide s	Glucosinolato s	% Inhibición
Fenoles	1			
Flavonoides	0,737* *	1		
Glucosinolato s	0,127	0,580*	1	
%Inhibición	-0,140	-0,021	-0,210	1
Vitamina C	0,344	0,383	0,334	-0,480

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Se observa una correlación positiva y significativa entre fenoles totales y flavonoides totales con una significación $p < 0,01$ y un coeficiente de correlación de 0,737. Este dato es coherente, puesto que como ya se ha mencionado con anterioridad, los flavonoides son un grupo de compuestos de naturaleza fenólica.

Al contrario de lo que era de esperar, no se observan correlaciones positivas entre la capacidad antioxidante y el resto de parámetros. La alta variabilidad observada en los compuestos analizados no es indicativa de una alta variabilidad para el contenido de actividad antioxidante como revelan los resultados. En dicha variabilidad influyen tanto el tipo de compuestos fitoquímicos como sus interacciones. Estos pueden ser: antioxidantes solubles en agua como la vitamina C y compuestos fenólicos, como los flavonoides, y antioxidantes solubles en lípidos como los carotenoides y la vitamina E (Podsdek, 2007).

Como se ha mencionado en la introducción, la capacidad antioxidante no viene dada por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes; en ella influyen el microambiente en que se encuentra el compuesto y las interacciones de los compuestos entre sí, pudiéndose producir efectos sinérgicos o inhibitorios (Kuskoski, 2005). A su vez, la composición en *Brassica* es variada, y por tanto la capacidad antioxidante varía entre especies, variedades y ecotipos, e incluso dentro del mismo ecotipo con factores como las condiciones de cultivo y el tipo de suelo, los fertilizantes, la situación geográfica, el momento de recolección o la parte de la planta (Armesto, 2012).

Los GLS, en principio no deberían presentar correlación con el resto de parámetros, pero los resultados muestran lo contrario dado que sí se da una correlación positiva ($r=0,580$, $p<0,05$) con flavonoides. Esto puede deberse a que los glucosinolatos están más presentes en coloraciones crema y por ende los flavonoides tienen más representación en estos tejidos.

3.2. Resultados y discusión de contenido mineral

En el presente apartado se muestran los resultados del contenido mineral y todos los elementos determinados, así como la discusión de los mismos.

3.2.1. Resultados de contenido mineral y elementos

En la tabla 7, se muestran los valores medios del contenido mineral general expresado en % de ceniza y todos los elementos minerales determinados (P, K, S, Mg, Ca, Na, Fe, Mn y Zn), expresados en mg/g muestra seca, para cada una de las entradas objeto de estudio y la media de las entradas de bróquil cultivadas en el mismo ambiente; junto con la desviación típica y el resultado de la comparación de medias entre las entradas, obtenida mediante el test de Tukey b. Para visualizar mejor los resultados mostrados en la tabla 7, se representa gráficamente las medias obtenidas para el contenido mineral junto con su desviación típica y la comparación de medias (figuras 28 – 37).

El análisis estadístico del contenido mineral general, muestra diferencias significativas entre las entradas de bróquil estudiadas y los testigos. Los resultados oscilan en un rango comprendido entre 9,52 % de la muestra testigo de bróquil pellado con máximo porcentaje de cenizas, y la entrada de bróquil verde BV4, con 7,02 %, el mínimo contenido mineral del conjunto.

Tabla 7. Contenido del contenido mineral y elementos minerales ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

	CONTENIDO MINERAL (% ceniza)	MACROELEMENTOS						MICROELEMENTOS		
		P (mg/ g)	K (mg/ g)	S (mg/ g)	Mg (mg/ g)	Ca (mg/ g)	Na (mg/ g)	Fe (mg/ g)	Mn (mg/ g)	Zn (mg/ g)
BRO	7,14 ± 0,27ab	5,98 ± 0,41abcde	25,64 ± 0,83abc	4,21 ± 0,29bcde	1,89 ± 0,02ef	4,91 ± 0,46abc	1,1 ± 0,06b	0,088 ± 0,006a	0,023 ± 0,002abc	0,058 ± 0,002ef
TBP	9,52 ± 0,70f	6,72 ± 0,24def	32,37 ± 3,06de	6,42 ± 0,10g	2,02 ± 0,11f	6,91 ± 0,71e	2,2 ± 0,22c	0,171 ± 0,008d	0,036 ± 0,001e	0,048 ± 0,007cde
BP1	7,72 ± 0,45abcd	5,12 ± 0,21abc	25,22 ± 2,71abc	4,94 ± 0,25ef	1,37 ± 0,02ab	6,91 ± 0,50e	0,3 ± 0,03a	0,132 ± 0,008bc	0,025 ± 0,002abc	0,022 ± 0,001a
BP2	7,37 ± 0,36ab	6,18 ± 0,43bcdef	32,78 ± 0,93de	3,56 ± 0,30ab	1,40 ± 0,08abc	4,56 ± 0,15ab	0,3 ± 0,03a	0,135 ± 0,005c	0,019 ± 0,002a	0,036 ± 0,007bc
BP3	9,24 ± 0,25ef	6,33 ± 0,42bcdef	32,10 ± 1,08de	4,77 ± 0,31def	1,71 ± 0,12de	7,63 ± 0,68efg	0,4 ± 0,01a	0,126 ± 0,001bc	0,029 ± 0,002cd	0,051 ± 0,004def
BP4	8,86 ± 0,34def	7,48 ± 0,63f	33,62 ± 2,63e	4,07 ± 0,16bcd	1,69 ± 0,20cde	6,10 ± 0,49cde	0,4 ± 0,05a	0,133 ± 0,007bc	0,027 ± 0,002bcd	0,061 ± 0,005f
BP5	7,94 ± 0,08abcd	4,90 ± 0,18ab	29,16 ± 1,96cd	5,12 ± 0,05f	1,42 ± 0,06abc	6,62 ± 1,70de	0,3 ± 0,01a	0,122 ± 0,014bc	0,026 ± 0,003bc	0,045 ± 0,007cde
BP6	7,82 ± 0,17abcd	6,62 ± 0,54def	26,33 ± 1,15abc	3,27 ± 0,11a	1,37 ± 0,14ab	4,07 ± 0,54a	0,3 ± 0,04a	0,125 ± 0,009bc	0,023 ± 0,004abc	0,054 ± 0,006ef
V1	8,73 ± 0,44cdef	6,46 ± 0,75cdef	33,60 ± 0,78e	3,92 ± 0,42abc	1,80 ± 0,03ef	6,74 ± 0,64de	0,3 ± 0,01a	0,122 ± 0,001bc	0,020 ± 0,002ab	0,045 ± 0,004cde
V2	8,26 ± 0,02bcde	6,89 ± 0,83ef	29,18 ± 1,64cd	3,19 ± 0,29a	1,65 ± 0,05bcde	5,27 ± 0,49abcd	0,3 ± 0,06a	0,127 ± 0,015bc	0,022 ± 0,003abc	0,050 ± 0,007def
V3	8,25 ± 0,77bcde	6,41 ± 0,50cdef	24,69 ± 0,68ab	5,25 ± 0,23f	1,48 ± 0,07abcd	8,54 ± 0,83fg	0,3 ± 0,07a	0,135 ± 0,010c	0,033 ± 0,004de	0,050 ± 0,005def
V4	7,02 ± 0,76a	4,59 ± 0,51a	24,15 ± 1,03a	4,52 ± 0,41cdef	1,40 ± 0,20abc	6,48 ± 0,50de	0,2 ± 0,03a	0,125 ± 0,004bc	0,029 ± 0,002cd	0,037 ± 0,002bc
V5	7,62 ± 0,29abc	5,37 ± 0,11abcd	26,34 ± 0,66abc	4,62 ± 0,23cdef	1,29 ± 0,08a	7,27 ± 0,52ef	0,2 ± 0,02a	0,126 ± 0,003bc	0,029 ± 0,002cd	0,040 ± 0,005bcd
V6	8,56 ± 0,24cdef	5,24 ± 0,61abcd	28,76 ± 0,67bcd	6,94 ± 0,51g	1,25 ± 0,09a	9,01 ± 0,47g	0,3 ± 0,05a	0,106 ± 0,009ab	0,029 ± 0,003cd	0,031 ± 0,004ab
V7	7,29 ± 0,14ab	5,37 ± 0,68abcd	22,66 ± 1,32a	3,50 ± 0,26ab	1,28 ± 0,12a	6,03 ± 0,71bcde	0,2 ± 0,03a	0,119 ± 0,018bc	0,024 ± 0,003abc	0,029 ± 0,003ab
Media Bróquil	8,05 ± 0,33	5,92 ± 0,49	28,35 ± 1,33	4,44 ± 0,27	1,47 ± 0,10	6,56 ± 0,63	0,29 ± 0,03	0,126 ± 0,008	0,026 ± 0,003	0,043 ± 0,005

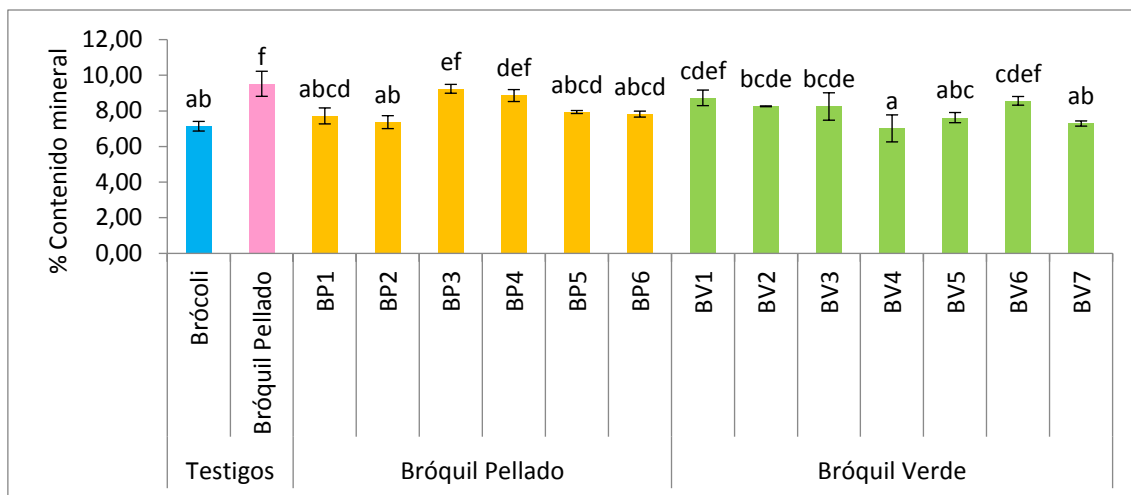


Figura 28. Contenido mineral ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos (Tukey b, $p \leq 0,001$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

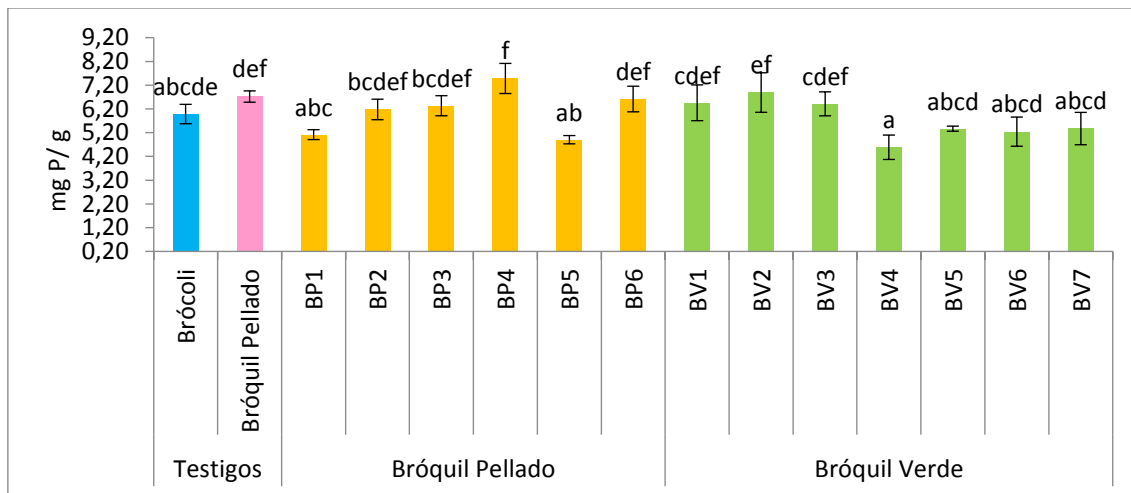


Figura 29. Contenido de fósforo ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

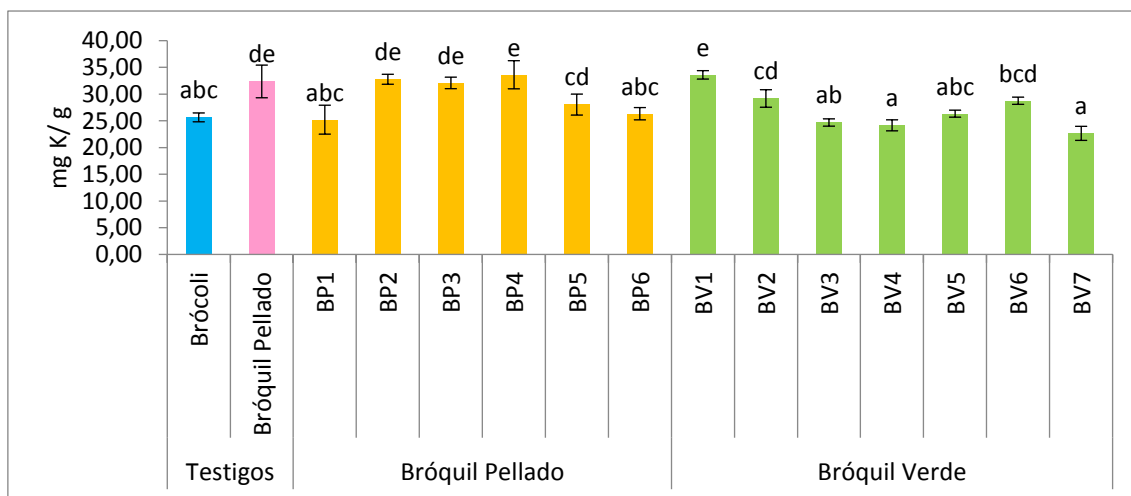


Figura 30. Contenido de potasio ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

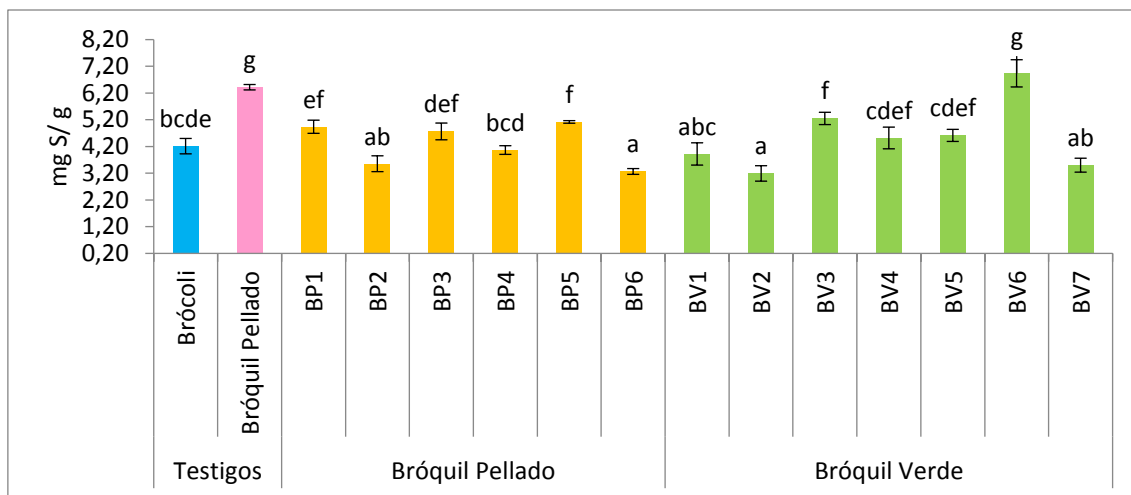


Figura 31. Contenido de azufre ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

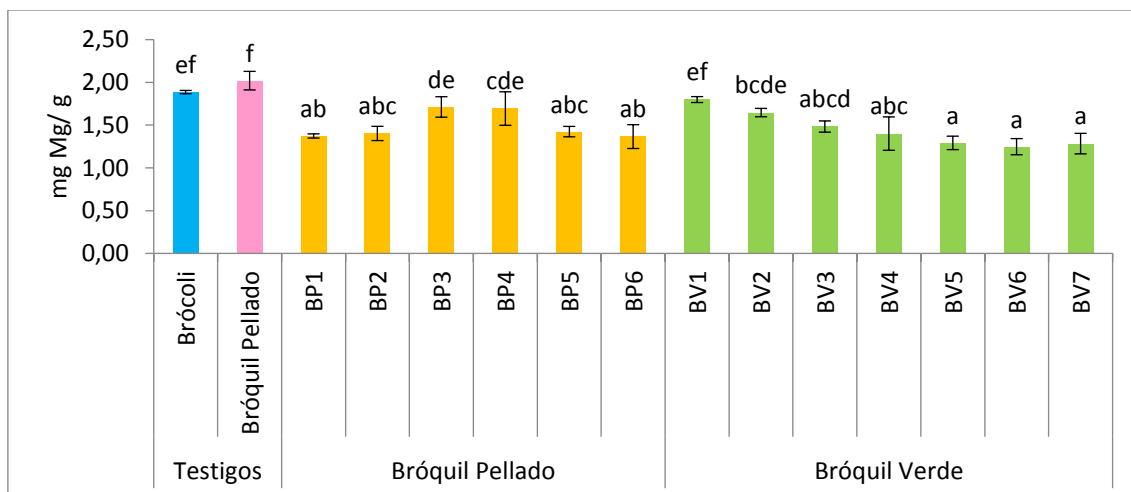


Figura 32. Contenido de magnesio ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

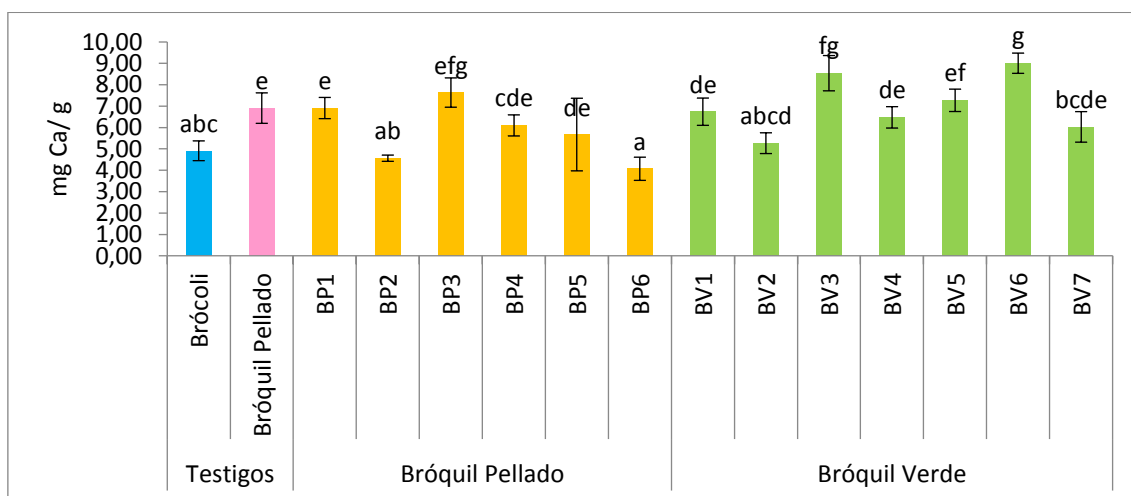


Figura 33. Contenido de calcio ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

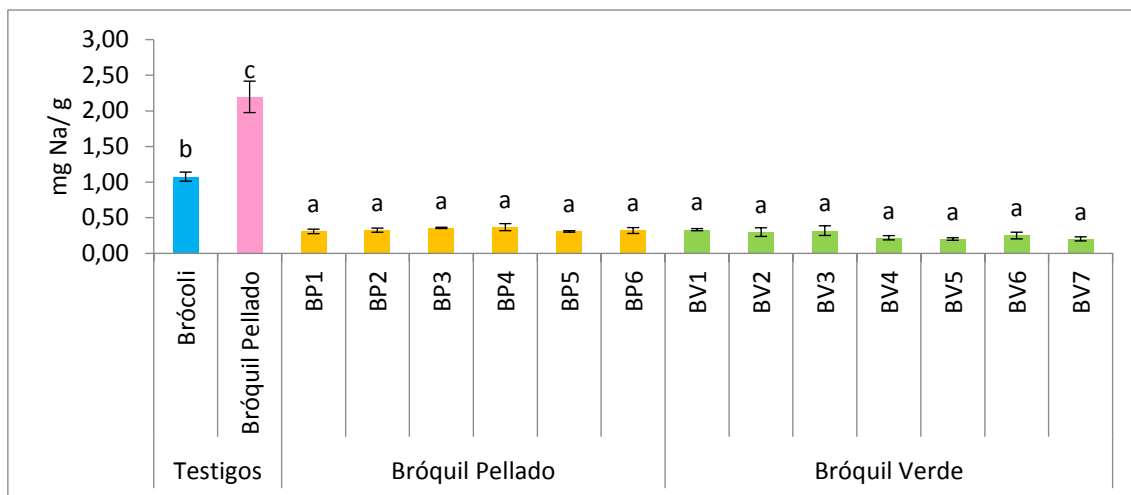


Figura 34. Contenido de sodio ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

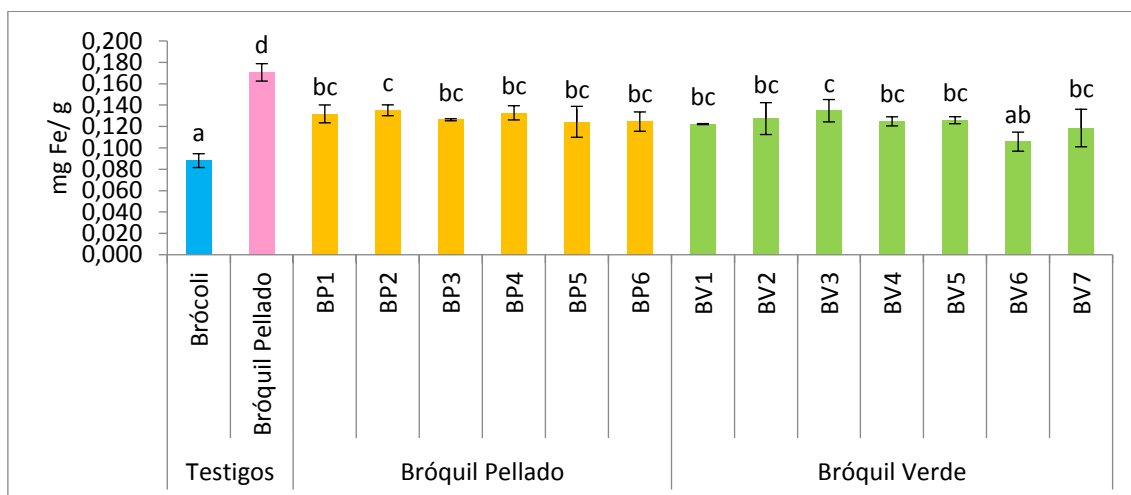


Figura 35. Contenido de hierro ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

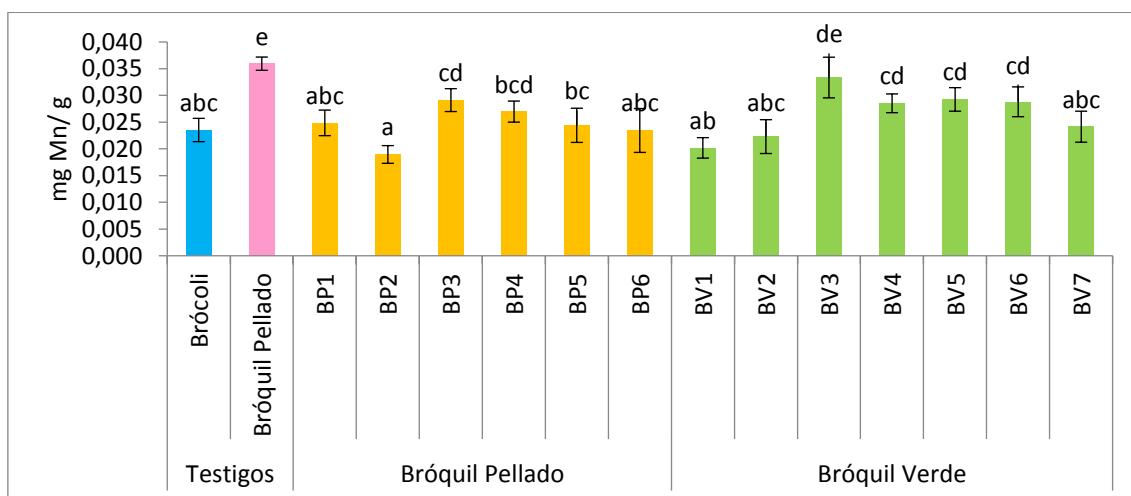


Figura 36. Contenido de manganeso ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

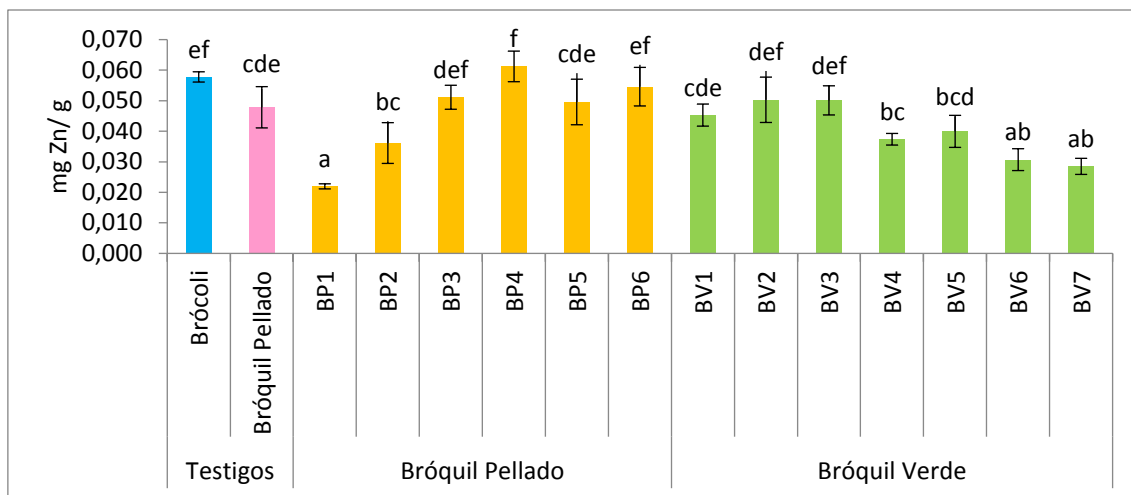


Figura 37. Contenido de zinc ($\bar{x} \pm sd$) en bróquil y testigos. Letras distintas en cada barra indican diferencias significativas entre grupos. (Tukey b, $p \leq 0,05$) observadas tras el análisis estadístico (ANOVA).

3.2.1.1. Macroelementos

Los resultados ponen en evidencia que existe variabilidad entre las entradas de bróquil para todos los macroelementos analizados con la excepción del sodio. El análisis de la varianza (ANOVA) detectó diferencias significativas entre muestras para un nivel de significación del 95% (Tukey b, $p < 0,001$). En líneas generales, dicho contenido mineral es equiparable al brócoli.

Para el contenido de fósforo, el máximo se obtuvo en la entrada de bróquil pellado BP4 con 7,48 mg/g, mientras que la entrada de bróquil verde BV4, mostró el mínimo contenido con 4,59 mg/g, detectándose diferencias significativas en el conjunto de entradas analizadas. El brócoli testigo, con un contenido en fósforo de 5,98 mg/g, se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos para el conjunto de las entradas de bróquil analizadas.

En el análisis estadístico para la tipología bróquil verde y la tipología de bróquil pellado presentó gran variabilidad de las entradas dentro de los grupos.

El contenido de potasio, oscila entre el máximo contenido obtenido en el bróquil pellado BP4, con 33,6 mg/g, y la entrada de bróquil verde BV7, con un mínimo contenido de 22,6 mg/g. El brócoli testigo se encuentra dentro de este rango.

El análisis estadístico para la tipología bróquil pellado y para la tipología de bróquil verde (Tukey b, $p < 0,001$) presenta gran variabilidad entre las entradas dentro de cada tipología.

El análisis estadístico para el contenido de azufre mostró una variabilidad para el conjunto de muestras. La entrada de bróquil verde BV6 presentó el máximo contenido con 6,94 mg/g, seguida por la muestra testigo de bróquil pellado con 6,42 mg/g; ambas sin mostrar diferencias significativas y con diferencias significativas con respecto al resto de las entradas. El valor mínimo se da en la entrada de bróquil verde BV2 con 3,19 mg/g no mostrando diferencias significativas con el bróquil pellado BP6, BP2, BV1 y BV7.

El análisis estadístico para las tipologías de bróquil verde y pellado por separado también señala gran variabilidad dentro de los mismos, pudiéndose observar en bróquil pellado cuatro grupos diferenciados entre sí.

El contenido máximo en magnesio entre las entradas de bróquil pellado y verde se obtuvo en el bróquil verde BV1, con 1,89 mg/ g aunque sin mostrar diferencias significativas con el bróquil verde BV2, y los pellados BP3 y BP4. La entrada de bróquil verde BV6, mostró el mínimo contenido con 1,25 mg/ g aunque sin mostrar diferencias significativas con las restantes entradas. Cabe señalar que, las muestras testigo, tanto el brócoli como el bróquil pellado testigo (BPT), mostraron los mayores contenidos en Mg, superiores estadísticamente a la mayoría de las muestras de bróquil. (La entrada testigo de bróquil pellado, máximo contenido de magnesio con 2,02 mg/ g; El brócoli testigo, segundo valor más alto con 1,89 mg/ g).

El análisis estadístico para la tipología bróquil pellado y bróquil verde por separado, señala gran variabilidad dentro de los grupos.

Para el contenido de calcio, el análisis muestra gran variabilidad para todo el conjunto. La entrada de bróquil verde BV6, con mayor contenido, 9,01 mg/ g, presenta diferencias significativas con respecto a todo el conjunto excepto con las entradas de bróquil BP3 y BV3. La entrada de bróquil pellado BP6, que mostró el mínimo valor con 4,07 mg/g, presenta diferencias significativas con el conjunto excepto con la muestra testigo de brócoli y las entradas de bróquil BP2 y BV2.

El análisis estadístico para la tipología bróquil pellado y bróquil verde por separado señala gran variabilidad para las entradas dentro de los grupos.

Finalmente, para el contenido de sodio el análisis de la varianza no detectó diferencias significativas entre las entradas de bróquil (rango: 0,20 – 0,37 mg/ g). Sin embargo, es llamativamente reseñable el contenido de sodio encontrado en el bróquil pellado testigo y en el brócoli. Las muestras testigo recogen los valores más altos del conjunto, con 1,08 mg/ g en brócoli y 2,20 mg/ g en bróquil pellado testigo.

3.2.1.2. Microelementos

El análisis de la varianza (ANOVA) para los resultados de cada microelemento detectó diferencias significativas entre muestras para un nivel de significación del 95% (Tukey b, $p < 0,001$).

Los resultados obtenidos para el contenido de hierro en las entradas de bróquil cultivadas en el mismo ambiente, de 0,10 a 0,13 mg/ g, fueron similares entre sí sólo detectándose diferencias significativas con los testigos con la única excepción de la entrada de bróquil verde BV6; mostrando el valor más alto el brócoli testigo (0,17 mg/ g) y el valor más bajo el testigo de bróquil pellado, TBP (0,08 mg/ g).

En el análisis estadístico para la tipología bróquil pellado y bróquil verde se aprecian las mismas diferencias significativas (Tukey b, $p < 0,001$) observadas para todo el conjunto.

El contenido de manganeso muestra diferencias significativas entre las entradas de bróquil estudiadas. El rango oscila entre los 0,033 mg/ g de la entrada de bróquil verde BV3 y los 0,019 mg/ g de la entrada de bróquil pellado BP2. La entrada testigo de bróquil pellado fue la que mostró mayor contenido con 0,036 mg/ g y el brócoli testigo un valor inferior a la mayoría de las muestras de bróquil.

A su vez, el análisis estadístico para la tipología bróquil pellado y bróquil verde presenta gran variabilidad dentro de los grupos (Tukey b, $p < 0,001$).

Finalmente, el contenido de zinc presenta variabilidad en las entradas de todo el conjunto. El mayor contenido se da en la entrada de bróquil pellado BP4 con 0,061 mg/ g. Esta entrada junto con las de bróquil pellado BP3 y BP6 y las de bróquil verde BV2 y BV3 no muestran diferencias significativas con la muestra testigo de brócoli comercial con 0,058 mg/ g. Y, el menor contenido de zinc se da en la entrada de bróquil pellado BP1, con 0,022 mg/ g. El análisis estadístico no detectó diferencias significativas para ninguno de los minerales analizados al comparar el conjunto de los bróquiles pellados con el conjunto de los verdes. A su vez sí se encontraron diferencias significativas dentro de cada tipología para todos los minerales estudiados con excepción del hierro y el sodio.

Así mismo, cabe señalar que para la mayor parte de las entradas y minerales analizados, las medias obtenidas van acompañadas de una desviación relativamente alta lo que está indicando la heterogeneidad del material vegetal analizado.

3.2.2. Discusión del contenido mineral

El contenido mineral de las muestras estudiadas es bajo. Los resultados obtenidos, de 7,01 a 9,52 mg/g, representan, en media, aproximadamente el 1% de cenizas con respecto a la muestra fresca. Este dato es equiparable al contenido mostrado en otros estudios donde se analizan muestras de *Brassica oleracea* L. (col 0,69%; coliflor 0,91%; brócoli 1,06%; col de Bruselas 1,25%; Kale, 1.33%) (Molina, 2019; Emebo y Anyika, 2011) y a otros cultivos de hoja como la lechuga (0,61%) o la acelga (1,05%) (Welbaum, 2015). Los resultados también evidencian que el bróquil y el brócoli tienen contenido mineral similar.

Teóricamente, la variabilidad observada está condicionada tanto por parámetros morfológicos y fisiológicos como por parámetros ambientales. La concentración mineral en planta varía durante el ciclo de cultivo para cada nutriente y órgano vegetativo (Acikgoz, 2011, Rosa et al., 2002; Kaluzeviz et al. 2016). En general, en los vegetales, las concentraciones más altas en Ca y Mg se encuentran en hojas, en las inflorescencias predomina P, Fe y Zn y el K en los tallos, produciéndose las máximas concentraciones en distintos momentos del ciclo vegetativo (López et al., 1999 y Liu et al., 1996). En este trabajo se observó que no hay diferencias significativas cuando se compara el contenido mineral de la muestra de bróquil pellado BP4, cultivada en la parcela experimental, con la cultivada en otra localidad (BPT), lo que podría indicar poca influencia del ambiente en este parámetro.

El estudio del contenido de los macroelementos y microelementos más comunes de *Brassica oleracea* L. confirma que el bróquil es una buena fuente de minerales. Los resultados de composición mineral muestran que el bróquil tiene altos valores en fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. No existen datos de referencia para el bróquil en la literatura puesto que se trata de un cultivo local y minoritario, no estudiado a nivel de contenido mineral hasta este trabajo, por lo que tienen que compararse con el brócoli. Este vegetal ha sido elegido como testigo por estar considerado una de las variedades de *B. oleracea* más destacadas por sus cualidades nutricionales y además pertenecer a la misma subespecie botánica que el bróquil. Para todos los minerales estudiados el contenido en el bróquil es equiparable o incluso superior al del brócoli. Hay que señalar que la muestra de brócoli analizada mostró unos valores de minerales similares a los obtenidos en la bibliografía (Kaluzeviz et al., 2016; Rosa et al., 2002; Acikgoz, 2011) lo que refuerza la fiabilidad de los resultados obtenidos en el trabajo.

Las crucíferas en general y el grupo de las coles en particular, se caracterizan por poseer los niveles más altos de fósforo entre las verduras. El contenido de fósforo presente en las entradas estudiadas osciló entre 4,59 a 7,48 mg/g, lo que se traduce en 59,67-97,24 mg/100g PF (asumiendo el 87% de humedad en muestra fresca, dato medio obtenido en trabajos previos) valores que pueden llegar a suplir el 10% de la ingesta diaria de fósforo en adultos fijada entre 700-900mg.

La variabilidad observada para el fósforo en las entradas de bróquil puede ser debida, además del genotipo, a la proporción relativa de hoja e inflorescencia que tuviera el material vegetal analizado ya que para el brócoli se ha descrito mayores contenidos en inflorescencias que en hojas o tallos (López, 1999).

Aquellos vegetales que tienen un contenido de potasio superior a 300mg/100gPF son considerados alimentos con contenido muy alto de potasio. (Martínez-Pineda, 2016). Este es el caso del bróquil para el que se han calculado valores superiores a 350mg/100g PF.

Para el contenido de azufre, los resultados obtenidos van de 3,19 a 6,94 mg/g. Otros autores aportan contenidos en coles similares a los observados; en Rosa et al. (2002) 8,9 a 18,6 mg/ g para cultivares de brócoli, y en Xiao (2016) en 2,6 a 4,3 mg/ g. Las crucíferas en general son vegetales que tienen, junto con liliáceas como la cebolla y el ajo, o leguminosas, los mayores contenidos de azufre dentro de las hortalizas.

Para el contenido de magnesio en las entradas a estudio, 1,25 a 2,02 mg/ g, las entradas testigo de brócoli y bróquil pellado presentan los contenidos más altos de magnesio para todo el conjunto. Estos valores son similares a los de García Mendez. et al. 2019 con 0,8 a 2,1 mg/ g en brócolis no fertilizados, Rosa et al. 2002 con 1,3 a 2 mg/ g, Kaluzevitz et al. 2016 con 1,8 a 3,1 mg/ g, y Acikgoz et al. 2011 con 1,8 a 4,6 mg/ g.

A su vez, García et al. (2019) pone de manifiesto que las diferentes condiciones de cultivo para brócoli afectan a la concentración de magnesio en las diferentes partes de las plantas, es decir, se pueden dar mayores concentraciones en hoja o en pella dependiendo de las condiciones de cultivo. Por otra parte, las diferencias en el contenido de magnesio dependen tanto del propio cultivo como de las condiciones de cultivo, observando mayores resultados en siembras tardías (Rosa et al., 2002 y Acikgoz et al., 2011), por lo que la gran variabilidad entre tipologías y la tendencia de mayores contenidos en las entradas testigo coincide con lo mencionado.

El contenido medio de calcio en el bróquil (6,52mg/g) fue superior al brócoli (4,91 mg/ g). Los vegetales no son la principal fuente de calcio en la dieta; son los lácteos, algunos pescados y mariscos y los frutos secos, la principal fuente de calcio. Sin embargo, Rosa et al. (2002) hace mención a la biodisponibilidad del calcio que presentan las brásicas, comparable a la leche; por tanto, es importante considerar al bróquil como un alimento a tener en cuenta por su aporte de calcio fácilmente asimilable.

Algunos estudios han comenzado a caracterizar el brócoli primario y lateral, dado que las inflorescencias secundarias aportan mayores niveles de calcio y azufre (Rosa et al., 2002); otros estudios afirman mayores contenidos en las hojas (López, 1999) y la dependencia del contenido a las condiciones de cultivo, encontrando mayores resultados en siembra temprana (Rosa et al., 2002) que tardía (Acikgoz et al., 2011). Los diferentes factores que intervienen en el contenido de magnesio coinciden con la gran variabilidad encontrada para las distintas entradas de la colección de bróquil al tratarse de un cultivo tradicional.

Los contenidos en calcio y magnesio del bróquil pueden contribuir a las necesidades de ingesta diaria de estos minerales, esenciales en la prevención de la osteoporosis (Baena et al., 2016).

Las entradas de bróquil mostraron todas ellas valores muy bajos de sodio sin diferencias significativas entre las muestras por lo que se puede afirmar que es un alimento interesante para aquellas personas que deben llevar dietas bajas en sodio por problemas de elevada presión arterial. Los resultados obtenidos son inferiores a los del brócoli testigo (1,08 mg/ g). Sin embargo, Kałużewicz et al. (2016) obtuvieron valores de 0,20 a 0,54 mg/ g en cultivares de brócoli, equiparables al bróquil (0,20 – 0,37 mg/ g).

Las diferencias significativas entre las muestras testigo de bróquil (TBP) y la entrada de bróquil pellado BP4 ponen de manifiesto que las condiciones ambientales y en concreto las propiedades edáficas, influyen fuertemente en la cantidad de sodio presente en las muestras. En el caso de la entrada testigo de bróquil pellado con el valor más alto del conjunto de datos podría estar indicando contenidos elevados de sodio en el suelo de la parcela donde se cultivó, aunque éstos no llegaran a ser tóxicos dado que no se detectaron deficiencias en otros elementos como potasio, calcio o magnesio con los que puede competir en el complejo de cambio.

La relación sodio/potasio inferior a 1 en los alimentos ha sido recomendada para la prevención de la presión arterial elevada. Por tanto, el consumo de vegetales donde esto se cumple, como es el caso del bróquil, sirve para contribuir a reducir dicha enfermedad, tan frecuente en la sociedad occidental (FDN, 2002).

Los resultados obtenidos para el contenido de hierro, de 0,08 a 0,17 mg/g, muestran diferencias entre las muestras testigo de brócoli y bróquil pellado, mínimo y máximo contenido respectivamente, frente a las entradas de bróquil (0,10 a 0,13 mg/ g. Estos resultados son similares o superiores a los mostrados por Carvajal et. al. (2012) con 0,024 mg/ g, Kałużewicz et al. (2016) con 0,026 a 0,054 mg/ g, García et al. 2019 con 0.036 a 0,1 mg/ g, y Acikgoz (2011) con 0,096 a 0,100 mg/ g para cultivos de brásicas.

Acikgoz (2011) observó diferencias en cultivares de brócoli y coliflor para distintas épocas de siembra, obteniendo mayores resultados en los cultivares de siembra temprana; esto induce a pensar que las diferencias encontradas entre las entradas testigo y las entradas de bróquil están más relacionadas con las condiciones de cultivo que con la variabilidad genética.

El contenido de hierro calculado en relación al peso fresco es de 1,69mg por 100g, siendo el 10% al 20% (mujeres y hombres adultos, respectivamente) de la cantidad diaria recomendada, similar al contenido encontrado en arroz o pan integral, contribuyendo a la prevención de problemas de salud muy extendidos como la anemia, la inmunodeficiencia o el deterioro a largo plazo de la función mental (Baenas et al., 2016; López-Chillon et al., 2016, 2017).

Los resultados para el contenido de manganeso (0,019 a 0,036 mg/ g) y los resultados en brócoli, 0,024 mg Mn/ g, son similares a los de la bibliografía; en Kałużewicz et al. (2016) se dan resultados de 0,013 a 0,025 mg Mn/ g y en Acikgoz (2011) de 0,030 a 0,039 mg Mn/ g, ambos en cultivares de brócoli.

Las diferencias encontradas en las muestras testigo con mayores resultados y la variabilidad dentro de las tipologías hace sospechar que el contenido de manganeso puede estar influido por el ambiente y por la morfología de las distintas entradas. A pesar de que Acikgoz et al., (2011) pusieron de manifiesto que el contenido de manganeso era similar para distintas temporadas

del cultivo en brócoli. Por lo que las diferencias pueden estar más influidas por la morfología de las plantas que por las condiciones de cultivo.

Los resultados para el contenido de zinc, 0,022 a 0,061 son similares a los mostrados por otros autores en coles: 0,012 mg/ g en Carvajal et. al (2012) para brócoli, de 0,042 a 0,066 mg/ g en Kaluzeviz et al. (2016) para brócoli, de 0,011 a 0,106 mg/ g en García et al. (2019) para brócoli, de 0,036 en Acikgoz (2011) para brócoli, y en White et al. (2018) de 0,074 a 1,201 mg/ g para repollo y de 0,117 y 1,666 mg/ g para brócoli.

White et al. (2018) ponen de manifiesto que se dan diferencias en las concentraciones de Zn para los mismos genotipos, tanto en brócoli como en repollo, en distintos años de cultivo. Por tanto, las diferencias significativas encontradas en el presente trabajo para las entradas testigo respecto a algunas de las entradas de bróquil, evidencian que las concentraciones observadas en los resultados están más influenciadas por las condiciones de cultivo que por las diferencias genotípicas.

Los altos contenidos de zinc refuerzan la importancia de incorporar bróquil y brásicas a la dieta. Las brásicas tienen concentraciones relativamente grandes de zinc, pero pequeñas concentraciones de fitato que inhiben la absorción de Zn en el intestino humano, lo que hace que sean candidatas prometedoras para suministrar zinc más biodisponible a las dietas (White et al., 2018)

Pérez y Zapata (2003) hacen mención a la existencia de claras diferencias entre la distribución de nutrientes dentro de los tejidos vegetales a lo largo del ciclo de crecimiento, dándose mayores concentraciones por tanto, la existencia de diferencias significativas dentro de cada tipología, pellado o verde, pone de manifiesto la heterogeneidad entre las correspondientes entradas de bróquil estudiadas, dado que las distintas entradas de bróquil presentan diferencias entre variedades e incluso entre plantas de la misma entrada para la cantidad o tamaño de sus brotes laterales.

3.3. Resultados y discusión de la evaluación organoléptica

Para la evaluación organoléptica del bróquil pellado y verde, en términos generales y para el conjunto de todas las partes analizadas, el bróquil pellado fue mejor valorado que el bróquil verde, tal y como se observa en las figuras 38 y 39. Los resultados de esta apreciación están relacionados con la realidad del cultivo y pueden respaldarse por la información aportada por los viveristas locales. Éstos producen y venden a los agricultores el triple de plantones de bróquil pellado que de verde. Esto lo respaldan los agricultores y por ende los consumidores que prefieren el bróquil pellado al bróquil verde, al igual que lo observado en los resultados de la evaluación organoléptica.

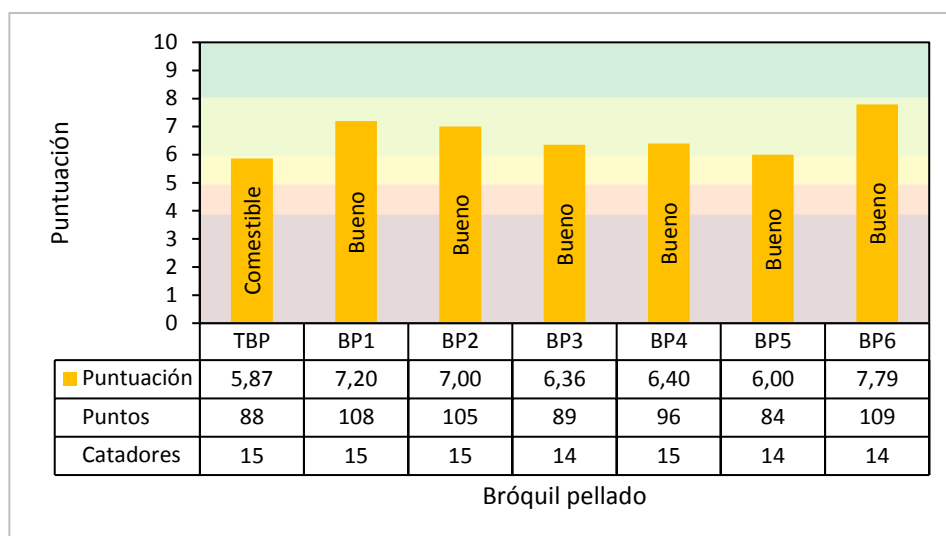


Figura 38. Resultados de la evaluación organoléptica de las entradas de bróquil pellado

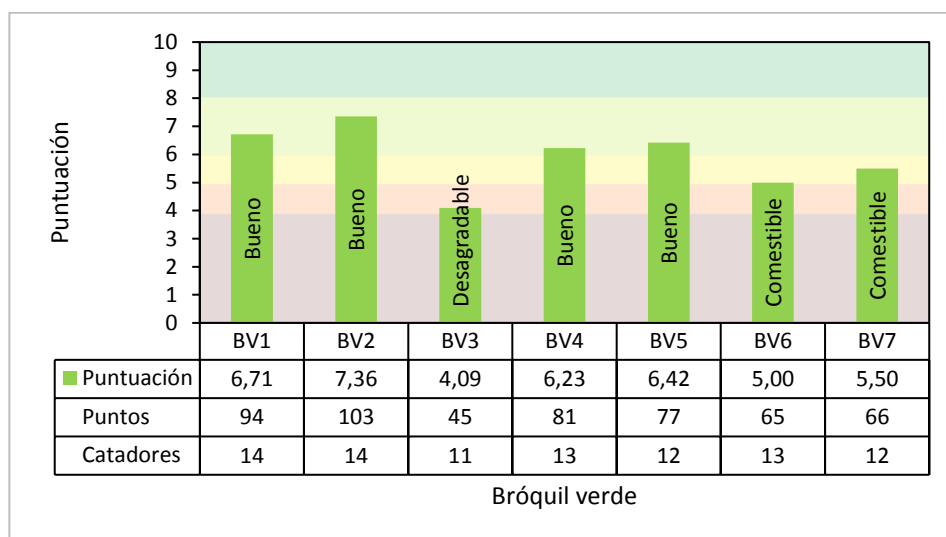


Figura 39. Resultados de la evaluación organoléptica de las entradas de bróquil verde.

Los resultados de evaluación organoléptica dentro de las entradas de bróquil pellado evaluadas indican una mayor preferencia por el bróquil pellado BP6, sin embargo, el resto de entradas también obtuvieron una buena valoración, catalogándolas como “buenas”, a excepción de la entrada testigo de bróquil pellado (TBP).

La entrada de bróquil pellado BP6 destaca por su alto contenido en glucosinolatos y zinc y bajo contenido en fenoles, manganeso, potasio, azufre, magnesio y calcio. Mientras que la entrada testigo de bróquil destaca por su alto contenido en hierro, manganeso, potasio, azufre, magnesio, calcio y bajo contenido en glucosinolatos

Estas valoraciones para las entradas de bróquil pellado confirman la consideración de estas plantas como un manjar tanto por el público en general como por los cocineros locales, de hecho, ha sido introducido en la gastronomía local de vanguardia en los últimos años con gran aceptación.

Por otro lado, las entradas de bróquil verde han obtenido valoraciones más bajas y dispares entre sí; estas valoraciones comprenden el rango de una buena apreciación organoléptica a una

apreciación organoléptica desagradable como es el caso de la entrada de bróquil verde BV3. El conocimiento tradicional ya pone de manifiesto que el bróquil verde mejora si sufre los rigores del invierno, incrementando su palatabilidad si ha sufrido una o varias heladas; y en caso contrario resulta una verdura de fuerte sabor. Este hecho, comúnmente conocido en muchas otras variedades tradicionales de la especie *B. oleracea*, ha repercutido negativamente sobre las entradas de bróquil verde del presente trabajo, tal y como puede observarse en la figura 39.

La entrada de bróquil verde BV3, la peor valorada, destaca por su alto contenido en fenoles, flavonoides, vitamina C, manganeso, azufre y calcio, y bajo contenido en potasio. Mientras que la entrada de bróquil verde mejor valorada, BV2, destaca por su alto contenido en zinc, fósforo y potasio, y bajo contenido en flavonoides, glucosinolatos, vitamina C, azufre y calcio.

Finalmente, analizando las diferentes partes aprovechables de las entradas analizadas en la evaluación organoléptica, éstas han tenido una aceptación dispar.

El limbo de la hoja se describió como fino, suave y de buen sabor, ayudando a aportar una mayor valoración organoléptica, aunque si la hoja se endurece puede ser fibrosa, áspera y de sabor desagradable, aportando una peor valoración organoléptica.

Las apreciaciones sobre los peciolo son diferentes para peciolo pelado o sin pelar. En una misma entrada, el peciolo sin pelar puede ser incomedible por ser duro, fibroso o incluso amargo, y sin embargo, pelado es calificado como bueno o muy bueno. El peciolo pelado puede consumirse en crudo, de forma similar a como se consume el apio.

La médula es una parte de la planta que sorprendió por su peculiar sabor. En líneas generales, los catadores la califican como buena, aunque se puntualiza que, si no se trabaja bien en el momento del pelado, puede resultar fibrosa. Además, se observó que el tiempo de cocción debe ser superior al resto de las partes estudiadas para incrementar la ternura.

Los caldos de cocción resultaron suaves y agradables, aunque en entradas como BP2, BV5 y BV6, los catadores desvelaron un ligero sabor amargo. De las cuales, dos de ellas, las entradas de bróquil verde BV5 y BV6, contienen los mayores valores de glucosinolatos de todo el conjunto; mientras que la entrada de bróquil pelado BP2 contiene valores bajos de glucosinolatos pero destaca con un alto contenido de ácido dehidroascórbico.

3.4. Análisis de componentes principales

Con el objeto de reducir la información contenida en los resultados analíticos de las muestras, se ha llevado a cabo un análisis factorial (análisis de componentes principales, ACP). Este análisis permite establecer asociaciones entre los parámetros fitoquímicos, minerales y organolépticos, y en base a ello, observar si hay diferencias o similitudes entre las muestras analizadas. Se han extraído 5 componentes principales, seleccionando las dos primeras que explican el 62,9% de la varianza total (tabla 8).

Tabla 8. Varianza total explicada para la realización del análisis de componentes principales a partir de los distintos parámetros estudiados.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,679	35,496	35,496	5,679	35,496	35,496
2	4,382	27,390	62,886	4,382	27,390	62,886
3	1,566	9,787	72,673	1,566	9,787	72,673

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Para ello, en la tabla 9, podemos observar que la componente 1 está influenciada positivamente por magnesio, fósforo, potasio, contenido mineral, hierro, zinc y sodio, y negativamente por flavonoides y glucosinolatos. Mientras que la componente 2 está influenciada por el manganeso, azufre, calcio y vitamina C, y negativamente por la evaluación organoléptica.

Tabla 9. Matriz de componentes principales

	Componente (varianza %)				
	1 (35,5%)	2 (27,39)	3 (9,8%)	4 (8,4%)	5 (7,4%)
Mg	0,886	0,255	0,066	0,053	0,112
P	0,878	-0,128	0,149	-0,336	-0,097
GLS	-0,797	0,020	-0,275	0,213	-0,170
K	0,763	-0,015	0,340	0,235	-0,234
Flavonoides	-0,752	0,175	0,530	0,246	0,152
Minerales	0,747	0,490	0,172	0,090	-0,361
Fe	0,673	0,301	-0,351	0,151	0,535
Zn	0,651	0,065	0,446	-0,391	0,070
Na	0,643	0,469	-0,462	0,271	0,198
Mn	0,054	0,929	-0,181	-0,108	0,154
S	-0,076	0,858	-0,113	0,370	-0,211
Ca	-0,263	0,839	0,176	0,065	-0,287
VitC	-0,267	0,794	0,091	-0,320	-0,065
Organolep	0,269	-0,787	-0,119	0,198	0,051
Inhibición	0,394	-0,258	0,336	0,716	-0,061
Fenoles	-0,343	0,310	0,539	0,101	0,662

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Finalmente, en las figuras 40 y 41 se muestra la representación gráfica de las variables (parámetros determinados) y de las muestras, en las dos nuevas componentes, respectivamente

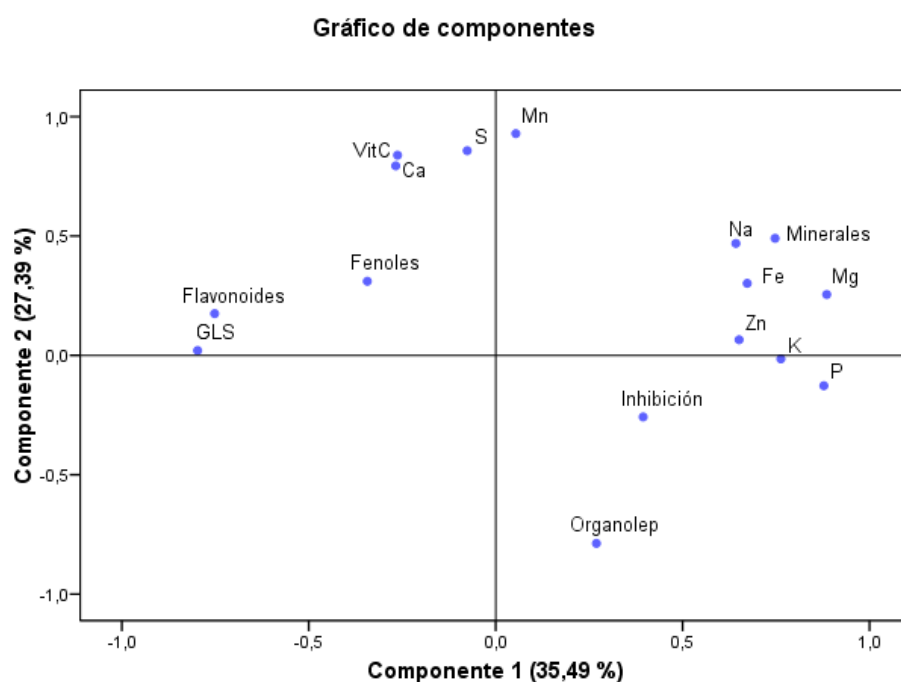


Figura 40. Representación gráfica de los parámetros evaluados en función de las dos componentes principales.

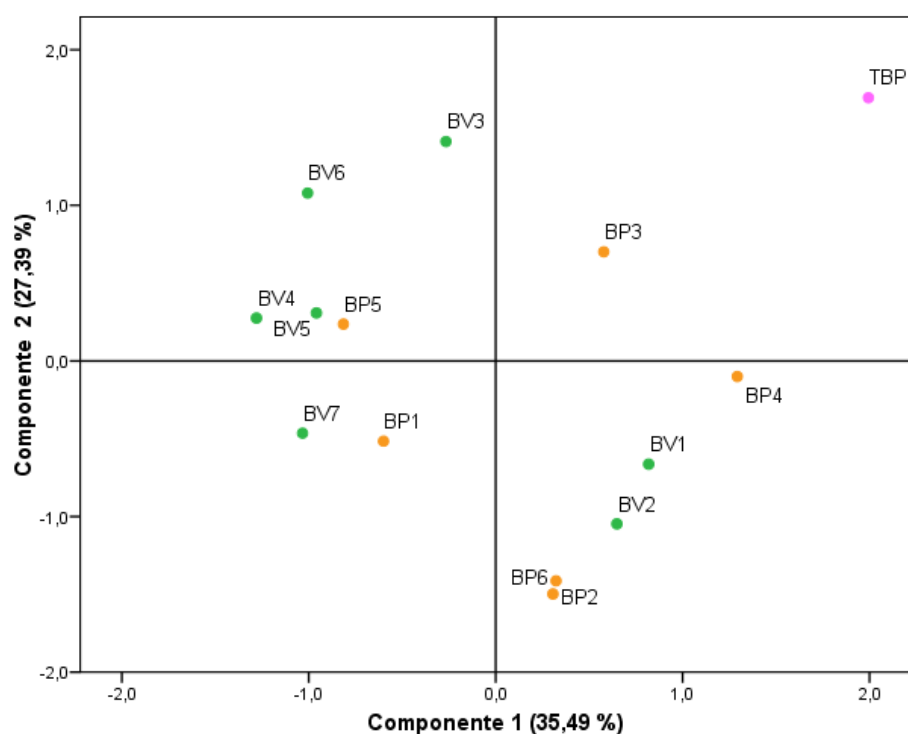


Figura 41. Representación gráfica de las entradas de bróquil en función de las dos componentes principales.

En la figura 41 se puede observar que no hay agrupamientos bien definidos entre las muestras objeto de estudio. El análisis de componentes principales nos permite comprender la gran variabilidad entre muestras y tipologías, puesto que no existen diferencias claras entre las entradas de bróquil pellado frente a las entradas de bróquil verde. Esto corrobora la

heterogeneidad existente en las entradas de la colección de bróquil, heterogeneidad relacionada tanto con la propia naturaleza de las variedades tradicionales como con la proporción de hoja y pella que tuviera cada muestra analizada. Si se observa la figura YYYY incluída en el anejo YYYYYY, en la que se muestra el material vegetal representativo de cada una de las entradas, se puede apreciar que en todas ellas hay una proporción similar de hoja y pella, lo que puede ser una explicación de este agrupamiento. No obstante, el ACP nos permite detectar tendencias en cuanto a las diferencias o similitudes entre entradas.

Las entradas de bróquil pellado, BP6 y BP2, y las entradas de bróquil verde, BV1 y BV2, son las entradas mejor valoradas organolépticamente y con una mayor actividad antioxidante (eje Y negativo, eje X positivo), que a su vez destacan por un bajo contenido en flavonoides y glucosinolatos (eje X negativo) y bajo contenido en vitamina C y Mn, S y Ca (eje Y positivo). Por otra parte, las entradas de bróquil verde BV3, BV4, BV5 y BV6 y las entradas de bróquil pellado BP5 fueron peor calificadas, probablemente debido a la contribución de flavonoides y glucosinolatos y el azufre, sustancias que aportan sabor amargo tal y como se refleja en la bibliografía (Czeczot, 2000). A su vez, las entradas de bróquil verde muestran el mayor contenido de vitamina C, fenoles, flavonoides y glucosinolatos. La entrada de bróquil pellado BP1, muy bien valorada en el panel de cata, no se encuadra en los conjuntos anteriormente mencionados, debido a un alto contenido en fenoles.

Las entradas bróquil pellado BP4 y TBP (testigo), que como ya se ha dicho, son el mismo genotipo, se diferencian por sus contenidos de elementos minerales, destacando BP4 por fósforo, potasio y zinc mientras que el testigo se discrimina por mayor contenido en azufre, manganeso y sodio. Estas diferencias se justifican considerando las condiciones ambientales y en concreto la variación en la composición mineral del suelo que pueda tener cada parcela.

4. CONCLUSIONES

- 1) El estudio de la colección de bróquil del BGHZ ha mostrado variabilidad entre las muestras para compuestos fitoquímicos, contenido mineral y características organolépticas.
- 2) Los niveles de variabilidad dentro de la colección de bróquil pellado son similares a los evaluados dentro de la colección de bróquil verde.
- 3) Los valores obtenidos para la actividad antioxidante y el contenido de compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, glucosinolatos, vitamina C) fueron similares o superiores al brócoli. Se puede afirmar que el bróquil tiene propiedades más beneficiosas para la salud que las atribuidas al brócoli.
- 4) El contenido en minerales ha revelado que el bróquil es rico en fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio.
- 5) El elevado contenido en compuestos fitoquímicos y minerales en comparación con otras formas de aprovechamiento de la especie *B. oleracea*, refuerzan el valor nutricional del bróquil.
- 6) El panel de cata mostró diferencias desde un punto de vista organoléptico entre las entradas estudiadas resultando mejor valoradas las entradas de bróquil pellado que las de bróquil verde.
- 7) Aquellas entradas caracterizadas por el contenido en glucosinolatos, fenoles, flavonoides y vitamina C, resultaron ser las peor valoradas organolépticamente, en contraposición con las caracterizadas por actividad antioxidante y minerales que fueron las mejor valoradas.
- 8) Vistos los resultados, se deberían realizar futuros estudios con las entradas mejor valoradas en la evaluación organoléptica. A este respecto, sería interesante modificar las condiciones de cultivo (suelo, temporada), y poder confirmar con ello si el contenido de los parámetros determinados en el presente estudio está influenciado por el propio genoma de la variedad o por las condiciones ambientales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acikgoz F.E. (2011). Influence of diferent sowing times on mineral composition and vitamin C of some broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivars. *Sci Res Essays* 6(4):760-765.
- Armesto, J., Carballo, J., y Martínez, S. (2012). Capacidad antioxidante y contenido en fenoles totales de la berza. <https://previa.uclm.es/area/cta/cesia2012/cd/PDFs/4-BIO/BIO-P08T.pdf>
- Astiasarán I. (2003). Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria. Ediciones Díaz de Santos.
- Baenas, N., Navarro, D., Moreno, A., Fernández, A., García-Viguera, C. (2016). Brotes de crucíferas: fuente de salud Interempresas. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/151968-Brotes-de-cruciferas-fuenteSalud.html>
- Bohinc, T., Ban, S.G., Ban, D. y Trdan, S. (2012). Glucosinolates in plant protection strategies: A review. *Archives of Biological Sciences*, 64, 821-828.
- Branca, F., Chiarenza, G.L., Cavallaro, C., Gu, H., Zhao, Z., y Tribulato, A. (2017). Diversity of Sicilian broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) landraces and their distinctive bio-morphological, antioxidant, and genetic traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 485-502
- BrassiBase. <https://brassibase.cos.uni-heidelberg.de/>
- Calvo, R. (26 de Enero de 2016). Manjares que nacen del frío. *Heraldo*. <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca/2016/01/26/manjares-que-nacen-del-frio-723665-2261127.html?autoref=true>
- Cámara, H. M., Cortés, S. M. M., & Torija, I. E. (2008). Nutrición y Salud: Frutas y verduras fuentes de salud. *Nueva Imprenta, SA Madrid, España*.
- Cartea ME, Velasco P (2008). Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health. *Phytochem Rev* 7:213-229.
- Cartea, E., Tortosa, M., Velasco, P., Francisco, M., Soengas, P., Rodríguez V.M. (2016). Brásicas. En Ruiz de Galarreta, J.I., Prohens, J., Tierno, R., eds. *Las variedades locales en la mejora genética de plantas*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteizb
- Carvajal, M., Alcaraz-López, C., Moreno, D. A., Martinez-Ballesta, M. C., Bernabeu, J., y García-Viguera, C. (2012) MINERALES ESENCIALES EN EL BROCOLI. DESDE LA SEMILLA AL PLATO. Libro de Comunicaciones, 216.
- Casals, J., Fundació, M., Agustí, M., (2012). Estudis sobre varietats tradicionals catalanes: la col brotonera (*Brassica oleracea* L.).
- Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela. UCV. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Caracas. Venezuela.
- Czeczot, H. (2000). Biological activities of flavonoids: A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 950, 3-13

- Davey, M.W., van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A. and Smirnoff, N. (2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 825-860.
- De la Rosa L. (2007). Control de germoplasma de brásicas en bancos de semillas. *Interempresas* Abril 2017. 329
- Dixon, G. R. (2017) The origins of edible brassicas. *Plantsman*, 16 (3). pp. 180-185. ISSN 1477-5298
- Domínguez-Perles, R.; Martínez-Ballesta, MC; Carvajal, M.; García-Viguera, C.; Moreno, D. (2010). Subproductos derivados del brócoli: una fuente prometedora de ingredientes bioactivos. *J. Food Sci.*, 75 , C383 – C392.
- Drago Serrano, M. E., López López, M., y Sainz Espuñes, T. D. R. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4).
- Elbsheer, S. E. A. (2018). Development of Methods for the Determination of Vitamin C Content in some Dry Fruits and Leaves, Laloub and Mesquite (Doctoral dissertation, Sudan University of Science and Technology).
- Emebu, P. K., & Anyika, J. U. (2011). Proximate and mineral composition of kale (*Brassica oleracea*) grown in Delta State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*.
- Enamorado R. (2017). http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/industriaalimentaria-y-su-repercusion-en-lasalud/contenidos/alimentos_funcionales/Unidad6.htm
- Engel, E., Baty, C., Le Corre, D., Souchon, I. y Martin, N. (2002). Flavour-active compounds potentially implicated in cooked cauliflower acceptance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6459-6467
- Escamilla-Jiménez, C.I., Cuevas-Martínez, E.Y. y Fonseca, J.G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 52, 73-75.
- Fahey, J.W., Zalcmann, A.T. and Talalay, P. (2001). The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56, 5-51.
- FAO. (2020). Food security. Dietary energy consumption. http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/food_security_statistics/FoodConsumptionNutrients_en.xls
- Fernández León, M. F. (2013). Evolución de los parámetros de calidad físico-químico y funcional de distintas brassicas sometidas a diferentes tratamientos postcosecha.
- Fernández-León, M.F., Fernández-León, A.M., Lozano Ruiz, M., Ayuso Yuste, M.C. and González-Gómez, D. (2012). Identification, quantification and comparison of the principal bioactive compounds and external quality parameters of two broccoli cultivars. *Journal of Functional Foods*, 4, 465-473.
- Fisher, N. D., y Hollenberg, N. K. (2005). Flavanols for cardiovascular health: the science behind the sweetness. *Journal of hypertension*, 23(8), 1453-1459.

- Gallaher, C. M., Gallaher, D. D., y Peterson, S. (2012). Development and validation of a spectrophotometric method for quantification of total glucosinolates in cruciferous vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(6), 1358-1362.
- García Méndez, V. (2019). Efecto de la aplicación conjunta de zinc y nitrógeno foliar sobre el cultivo del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* L.) (Master's thesis).
- Gilabert Santos, J. A. (2013). Licenciatura de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Dietética y Nutrición. Curso 2012-2013
- Gliszczyńska-Świgło, A., Ciska, E., Pawlak-Lemańska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T., & Tyrakowska, B. (2006). Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1088-1098.
- Giuseppe, N., Liu, J., Michela, B., Tonino, A., Novelli, A., Patten, J. J., ... & Pandolfi, P. P. (2021). Inhibition of HECT E3 ligases as potential therapy for COVID-19. *Cell Death and Disease*, 12(4).
- Hagen, S.F., Borge, G.I.A., Solhaug, K.A. y Bengtsson, G.B. (2009). Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Postharvest Biology and Technology*, 51, 36-42.
- Hounscome, N., Hounscome, B., Tomos, D. y Edwards-Jones, G. (2009). Changes in antioxidant compounds in white cabbage during winter storage. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 173-179
- Jareño N. (2017) El aporte de nitrógeno amoniacal aumenta la síntesis de compuestos anticancerígenos en el brócoli Interempresas. Abril 2017, 329
- Kaluzevic, A.; Jolanta, L.; Monika, G.; Krzesiński, W.; Spiżewski, T.; Zaworska, A.; Frąszczak, B. (2017) The effects of plant density and irrigation on phenolic content in cauliflower. *Horticulture Science*. 44,178–185.
- Kamtekar, S., Keer, V., y Patil, V. (2014). Estimation of phenolic content, flavonoid content, antioxidant and alpha amylase inhibitory activity of marketed polyherbal formulation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 4(9), 61-65. doi:10.7324/JAPS.2014.40911
- Kmiecik, W., Lisiewska, Z., Korus, A. (2007). Retention of mineral constituents in frozen brassicas depending on the method of preliminary processing of the raw material and preparation of frozen products for consumption. *European Food Research and Technology* 224:573–9.
- Krumbein, A. Saeger-Fink, H., y Schonhof, I. (2007). Changes in quercetin and kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. *Journal of applied botany and food quality*, 81(2), 136-139.
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25(4), 726-732.
- Laguna S., Montaner C., Zufiaurre, R. (2018). Evaluación de principios bioactivos del bróquil de Huesca. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza
- León, A. M. F. (2016). Estudio de la biodisponibilidad y bioactividad de los compuestos funcionales presentes en brócoli y col de Milán (Doctoral dissertation, Universidad de Extremadura).

- Liu, Liang-Min y Du, Xin-Yu y Cen, Guo y Li, De-Zhu. (2020). Resolving Robust Phylogenetic Relationships of Core Brassicaceae Using Genome Skimming Data. *Journal of Systematics and Evolution*. 59. 10.1111/jse.12666.
- Liu, M., Zhang, L., Ser, S. L., Cumming, J. R. y Ku, K. M. (2018). Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: the potentials for broccoli by-product utilization. *Molecules*, 23, 900–918.
- Lopez, M. T., López-Chillón, N., Baenas, Débora Villaño, Pilar Zafrilla, Cristina García-Viguera, Diego A. Moreno. (2017). Papel del brócoli en la alimentación y la salud. investigación y retos. Interempresas. Abril 2017 329
- Mageney, V., Neugart, S., y Albach, D. C. (2017). A guide to the variability of flavonoids in *Brassica oleracea*. *Molecules*, 22(2), 252
- Maroto, J.V. (2002). *Horticultura Herbácea Especial*. Quinta edición. Ediciones Mundi-Prensa..
- Martinez, J., y Begoña, A. (2007). Efecto protector del procesado mínimo sobre los compuestos bioactivos y actividad antioxidante del brócoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*) durante la conservación frigorífica y ruptura de la cadena de frío. In Departamento deficiencia y tecnología de productos vegetales, V Congreso Iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones. España (pp. 695-701).
- Martínez-Hernández, G.B., Artés-Hernández, F., Colares-Souza, F., Gómez, P., García-Gómez, P., and Artés, F. (2012). Innovative cooking techniques for improving the overall quality of a kailan-hybrid broccoli. *Food Bioprocess Technol*. En prensa. Doi 10.1007/s11947-012-0871-0
- Martínez-Pineda, M., Yagüe-Ruiz, C., Caverni-Muñoz, A., & Vercet-Tormo, A. (2016). Reducción del contenido de potasio de las judías verdes y las acelgas mediante el procesado culinario. Herramientas para la enfermedad renal crónica. *nefrologia*, 36(4), 427-432.
- Mazurek, A., y Pankiewicz, U. (2012). Changes of dehydroascorbic acid content in relation to total content of vitamin C in selected fruits and vegetables. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11(6), 169-177.
- Mendoza, F., Arteaga, M. R., y Pérez, O. A. (2017). Degradación de la vitamina C en un producto de mango (*Mangifera indica* L.) y lactosuero. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria (Colombia)*. 18 (1): 125-137.
- Mikkelsen M.D., B.L. Petersen, C.E. Olsen y B.A. Halkier (2002) Biosynthesis and metabolic engineering of glucosinolate. *Amino Acids* 22: 279-295
- Mikkelsen, M.D., Petersen, B., Olsen, C. and Halkier, B.A. (2002). Biosynthesis and metabolic engineering of glucosinolates. *Amino Acids*, 22, 279-95.
- Mithen, R. (1992). Leaf glucosinolate profiles and their relationship to pest and disease resistance in oilseed rape. *Euphytica*, 63, 71-83
- Miyazawa, M., Nishiguchi, T., Yamafuji, C. (2005). Volatile components of the leaves of *Brassica rapa* L. var. *perviridis* Bailey. *Flavor Frag Journal* 20:158–60.
- Mohanta R., Nandi AK., Mishra SP, Pattnaik A, Hossain MM Y Padhiary AK. (2018). Effects of integrated nutrient management on growth, yield, quality and economics of sprouting broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Shayali. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*

- Molina Coppiano, G. L. (2019). Caracterització nutricional de brassiques d'alt valor afegit (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Montaner, C., Zufiaurre, R., y Mallor, C. (2018). Caracterización morfológica y evaluación productiva de 11 entradas de bróquil conservadas en el Banco de Germoplasma Hortícola de Zaragoza. *Actas de Horticultura*, 80, 30-33.
- Montesinos Pereira, D. (2021). Estudio de diferentes aspectos agronómicos, fisiológicos y moleculares de la aplicación de H₂S en plantas de Brassica oleracea CV. BRONCO.
- Muțescu, M., Zachia, M., Belc, N., Burnichi, F., & Israel-Roming, F. (2020). Antioxidants in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 24, 107-113.
- Naczki, M. y Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523-1542.
- Naguib, A. E. M. M., El-Baz, F. K., Salama, Z. A., Hanaa, H. A. E. B., Ali, H. F., y Gaafar, A. A. (2012). Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica oleracea*, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(2), 135-142.
- Núñez Sánchez, M. A. (2012). Efecto del agua electrolizada sobre el sistema antioxidante y la enzima mirosinasa en brócoli, mínimamente procesado.
- Ordás, A., y Cartea, M. E. (2007). Col y col rizada. *Vegetales I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae y Cucurbitaceae*, 1,119.
- Pavoneca P. (2021) Brassicaceae. En la (Ed) Monaco Nature Encyclopedia. (Plants 2003 ed) <https://www.monaconatureencyclopedia.com/brassicaceae/?lang=en>
- Pérez Galeano, A., y Zapata Valencia, S. (2015). Evaluación del comportamiento comercial de los germinados y brotes tiernos en la ciudad de Medellín: posibles alternativas de comercialización (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
- Pérez, T.G. (2003). Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 22, 48-57.
- Podsdek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1-11.
- Porter, Y. (2012). Antioxidant properties of green broccoli and purple-sprouting broccoli under different cooking conditions. *Bioscience Horizons*, 5: 1–11.
- Quintanar EMA. Calderón S JV. La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. *Rev Educ Bioquímica*. 2009;28(3):89-101.
- Radošević, K., Srček, V. G., Bubalo, M. C., Brnčić, S. R., Takács, K., y Redovniković, I. R. (2017). Assessment of glucosinolates, antioxidative and antiproliferative activity of broccoli and collard extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 61, 59-66.
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*.

- Reilly K., Valverde J., Finn L., Rai D.K., Brunton N., Sorensen J.C., Sorensen H., Gaffney M. (2014): Potential of cultivar and crop management to affect phytochemical content in winter-grown sprouting broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: 322–330.
- Rincón, C. V., León, G. S., & Morales, P. J. (2013). La producción de metabolitos secundarios en la familia Brassicaceae. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 4.
- Rincón, L., Sáez, J., Perez, J. A., Gomez, M. D., y Pellicer, C. (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, 14(1-2).
- Rivera-Martin, A.; Reynolds-Marzal, D.; Martin, A.; Velazquez, R.; Poblaciones, M.J. Combined Foliar Zinc and Nitrogen Application in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.): Effects on Growth, Nutrient Bioaccumulation, and Bioactive Compounds. *Agronomy* 2021, 11, 548. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030548> ((Ca, Fe, ...))
- Rodríguez Hernández, M. C. (2013). Respuestas fisiológicas, moleculares y fitoquímicas de variedades de *Brassica oleracea* (Grupo *italica*) sometidas a estrés abiótico (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
- Rodríguez, M. A. C. C., Salazar, J. G. y García, A. C. (2017). Efecto del tratamiento termico en compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas en brocoli. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 95-100
- Rosa, E. A. y Rodrigues, A. S. (2001). Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *HortScience*, 36(1), 56-59
- Rosa, E. A., Haneklaus, S. H., & Schnug, E. (2002). Mineral content of primary and secondary inflorescences of eleven broccoli cultivars grown in early and late seasons. *Journal of plant nutrition*, 25(8), 1741-1751.
- Rossetto, M. R.M., Shiga, T.M., Vianello, F., y Lima, G. P. P. (2013). Análisis de glucosinolatos totales y bencilglucosinato purificados cromatográficamente en vegetales orgánicos y convencionales. *LWT-Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 50(1), 247-252.
- Schramm, K., Vassão, D.G., Reichelt, M., Gershenzon, J. y Wittstock, U. (2012). Metabolism of glucosinolate-derived isothiocyanates to glutathione conjugates in generalist lepidopteran herbivores. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 42, 174-182.
- Simón, A. (2008). Características de calidad y composición de distintos cultivares de coliflor con destino al procesamiento mínimo. ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), (1), 31-41.
- Stipanuk, M. H., y Caudill, M. A. (2018). Aspectos bioquímicos, fisiológicos y moleculares de la nutrición humana-E-book. Ciencias de la salud de Elsevier.
- Thomas, M., Badr, A., Desjardins, Y., Gosselin, A. y Angers, P. (2018). Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var. *italica*) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods. *Food Chemistry*, 245, 1204– 1211.
- Tortosa, M., Sotelo, T. y Cartea E. (2015). Mejora Genética. Interempresas. Junio 2015. 318

- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A. and García-Viguera, C. (2002). Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. *Journal of the Science and Food and Agriculture*, 82, 1293-1297.
- Vasconcellos, J. A. (2000). Alimentos funcionales. Consejos y beneficios para la salud. Depart de Ciencias de Alimentos y Nutrición, Universidad Chapman, California
- Vázquez, C., Mejía, B., Robles, M. R., y Ramírez, C. (2020). Impacto de las tecnologías de procesamiento del brócoli sobre compuestos fitoquímicos relevantes en salud humana: una revisión. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21
- Vidal, M.C. (2008). Alimentos funcionales. Algunas reflexiones en torno a su necesidad, seguridad y eficacia y a cómo declarar sus efectos sobre la salud. *HUMANITAS. Humanidades médicas*, 24, 1-27.
- Watson R. (2014). Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation. (Ed Elsevier Inc)
- Welbaum, G. E. (2015). Vegetable production and practices. CABI.
- White, P. J., Pongrac, P., Sneddon, C. C., Thompson, J. A., y Wright, G. (2018). Limits to the biofortification of leafy brassicas with zinc. *Agriculture*, 8(3), 32.
- Woodward, A. W., y Bartel, B. (2005). Auxin: regulation, action, and interaction. *Annals of botany*, 95(5), 707-735.
- Xiao, Z.L.; Codling, E.E.; Luo, Y.G.; Nou, X.W.; Lester, G.E.; Wang, Q. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *J. Food Comp. Anal.* 2016, 49, 87–93.
- Zaporozhets, O. A., & Krushinskaya, E. A. (2002). Determination of ascorbic acid by molecular spectroscopic techniques. *Journal of Analytical Chemistry*, 57(4), 286-297.

Anexo 1. Parcela de cultivo del CPIFP Montearagón.

	DATOS IDENTIFICATIVOS SIGPAC	
	Provincia:	22 - HUESCA
	Municipio:	901 - HUESCA
	Agregado:	0
	Parcela:	356
Referencia Catastral:		22901A005003560000QL

Coordinadas UTM del centro X: 716511.12 Y: 4664984.28 DATUM: WGS84 HUSO: 30	Fecha de vuelo de la foto del centroide de la parcela:	09/2018
	Fecha de la cartografía Catastral (*):	10/11/2018
	Fecha de Impresión:	01/11/2021
	Escala aproximada de impresión:	1 : 500



A) Relativos al recinto:

Recinto	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Uso	Admisibilidad en pastos		Coef. Regadío	Incidencias (1)	Región
				(%)	(ha)			
5	0,3004	2,00	TIERRAS ARABLES			100		1501 (2)

(1) Incidencias:

(2) Región del Régimen de Pago Básico según el Anexo II del Real Decreto 1076/2014.

INTERSECCIONES:

Intersección con FITOSANITARIOS

Recinto	Superficie Intersección (ha)	Porcentaje Intersección (%)	Clase de Fitosanitario
5	0,3004	99,99	Zona periférica

Anexo 3. Distintas partes aprovechables para consumo de cada entrada.



TBP



BP1



BP2



BP3



BP4



BP6



BP5



BV1



BV2



BV3



BV4



BV5



BV6



BV7



Brócoli

Anexo 2. Material de laboratorio

En el presente trabajo fin de máster se emplea el material básico de los laboratorios 2 y 3 (Dpto. de Química Analítica, Edificio Loreto, EPSH) y del laboratorio 9 (Dpto. de Producción Vegetal I-Genética, Edificio Guara, EPSH)

EQUIPOS DE LABORATORIO

Además del material básico de laboratorio, se han utilizado los siguientes equipos e instrumentos de laboratorio:

- Espectrofotómetro de absorción molecular. Unicam UV/Vis Spectrometer UV2.
- Espectrofotómetro de absorción atómica. EspectrAA-10
- Espectrofotómetro de absorción atómica. EspectrAA-110
- Balanza analítica. Sartorius CP 224S.
- Placa calefactora/agitadora. Modelo COBOS/HS 100.
- Centrifuga.
- Molinillo de bolas. Mühler
- Baño de ultrasonidos. Fungilab
- Vortex Velp Scientifica ZX3
- Horno de mufla P-Selecta
- Estufa de secado o cultivo.

REACTIVOS Y DISOLUCIONES

Los reactivos y disoluciones para el desarrollo de este trabajo fin de estudios son los siguientes:

Reactivos:

- Ácido acético (CH_3COOH), 100%, Panreac
- Ácido clorhídrico (HCl), 35,5%, Panreac
- Ácido metafosfórico (HPO_3) 65%, Sigma-Aldrich
- Ácido nítrico (HNO_3), 97%, Sigma-Aldrich
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4), 96%, Sigma-Aldrich
- 2,6 Dicloroindofenol sal sódica hidrato ($\text{C}_{12}\text{H}_6\text{Cl}_2\text{NNaO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), Sigma-Aldrich
- Carbonato sódico (Na_2CO_3), 99%, Sigma-Aldrich
- DL-Ditiotreitol, DTT, 99%, Sigma-Aldrich
- DPPH • (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), 99,5%, Sigma-Aldrich
- Hidróxido sódico (NaOH), 99%, Panreac
- Metanol (CH_3OH), 99,8%, Panreac
- Molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$), 99,9%, Sigma-Aldrich
- Nitrito de sodio (NaNO_2), 97,5%, Probys
- Patrón de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), 99%, Sigma-Aldrich.
- Patrón de ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico), 98%, Sigma-Aldrich
- Patrón de quercetina (3,3',4',5,7-pentahidroflavona), 95%, Sigma-Aldrich
- Patrón de sinigrina ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{KNO}_9\text{S}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), 99%, Sigma-Aldrich

- Reactivo Folin&Ciocalteu 2 M, Sigma-Aldrich
- Reactivo Tween 20, Sigma-Aldrich
- Solución estándar de fosfato (Na_2HPO_4), 1000 mg/L, Sigma-Aldrich
- Solución estándar de sulfato (Na_2SO_4), 1000 mg/L, Sigma-Aldrich
- Tetracloruropaladato de sodio (Na_2PdCl_4), 98%, Panreac
- Tricloruro de aluminio (AlCl_3), 99%, Acros Organics
- Tris, pH 7.2 - 9.0, Sigma-Aldrich
- Trolox-TM (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), 97%, Sigma-Aldrich
- Disoluciones patrón de 1000mg/L de hierro, magnesio, manganeso, cinc, calcio, manganeso y sodio. Panreac.

Disoluciones

Disolución de ácido metafosfórico y ácido acético

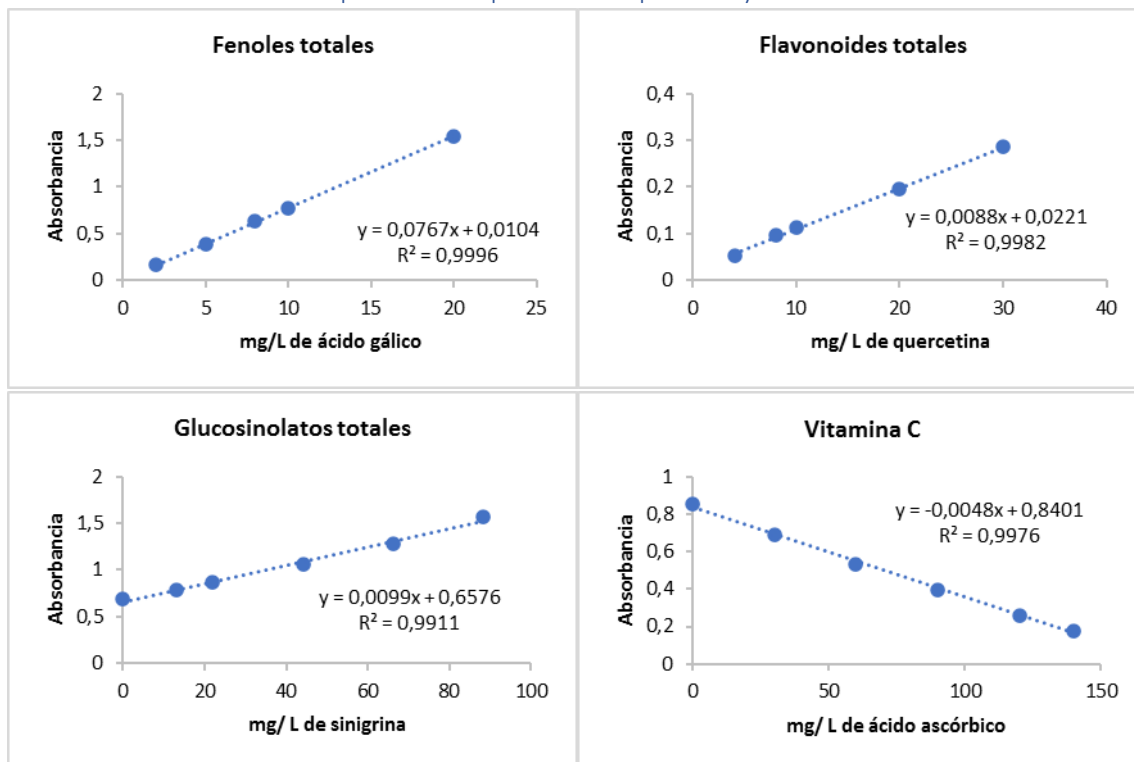
Se pesan 8,5 gramos de ácido metafosfórico de 35% de pureza, se añaden 5mL de ácido acético y un volumen de agua destilada no superior a 100 mL que ayude a favorecer la disolución, y se coloca en una placa calefactora con calor e imán, bajo campana de extracción hasta que la mezcla sea homogénea. Finalmente se ajusta la solución extractante a un volumen final de 100 mL con agua destilada.

Disolución DL-ditiotreitol

Se pesan 0,629 g de DL-ditiotreitol, se añade 90 mL de buffer 0,5M de Tris pH9 y se adiciona agua destilada en un matraz aforado hasta un volumen de 100 mL.

Anexo 4. Rectas de calibrado.

a. Rectas de calibrado para los compuestos fitoquímicos y vitamina C.



b. Rectas de calibrado para los elementos minerales.

