



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL
CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL
Y AROMÁTICA DE ESPECIES
INFRAVALORADAS DE HOJA
COMESTIBLE

Presentada por: Tamara Fukalova Fukalova

Dirigida por: M^a Dolores Raigón Jiménez

Programa de Doctorado en Técnicas Experimentales en Química

Valencia, noviembre de 2022

AGRADECIMIENTOS

En medio de esta tesis ha tenido lugar un importante acontecimiento en la vida de todos, la pandemia de COVID-19. Los meses de confinamiento motivaron la reflexión, con frecuencia sobre la salud. Esto me ha permitido poner en cuestión, una vez más, la importancia de la alimentación adecuada para mantener el frágil equilibrio salud-enfermedad. La frase que el alimento sea tu medicina... es muy conocida, pero el estilo de vida actual y el sistema de alimentación, poco variada, no invitan a gozar de esta sabiduría.

De las plantas medicinales que iniciaron este proyecto y por las dificultades aportadas por el COVID-19, se cambió a las plantas comestibles infravaloradas que son un aporte indiscutible para la salud y bienestar de todos nosotros. Después de más de dos años de lectura, procesamiento de datos, escritura y corrección, la tesis finalmente ha nacido. Cuando por fin arranco el proyecto, debo reconocer que lo he pasado en grande con todas las salidas al campo que nos ha permitido realizarlo, conociendo a personas que son auténticos guardianes de los conocimientos tradicionales sobre las plantas silvestres comestibles. Una de estas personas, Manuel Figueroa, es a quien dedico mi sincero agradecimiento con todo mi cariño.

Llegado el momento de reconocer que junto con el aprendizaje, he disfrutado de la compañía de mi tutora y promotora, María Dolores Raigón. Ella era la indicada que trajo a colación la idea de realizar este doctorado por los cambios obligados por la situación de pandemia. Durante todo el proyecto me sentí muy arropada por su apoyo y dedicación absoluta. Su guía profesional y personal han sido vitales para mí en este camino. Gracias de corazón por su ayuda y compañía.

No puedo olvidar a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta tesis. Transmito mi agradecimiento a la técnica del laboratorio por sus observaciones y su gran espíritu de trabajo. Muchísima gracias al departamento de Química Analítica por haberme permitido realizarlo.

Agradezco de modo particular el apoyo de Jesús Rodrigo S., mi esposo por su soporte logístico y por ayudarme a superar todas las dificultades, colaborando para que yo haya llegado hasta aquí. Además, de su contribución anímica y un apoyo imprescindible en mi vida de la computadora, solo puedo repetir lo mismo: muchas gracias.

El estudio presentado es el resultado de una colaboración entre muchas personas. Un agradecimiento para la Universidad Central del Ecuador y en especial a la Dra. María Mercedes Gavilanes por su ayuda y gestión que han contribuido considerablemente para realizar exitosamente este estudio.

La Tesis Doctoral con el título “**Caracterización nutricional y aromática de especies infravaloradas de hoja comestible**” ha planteado como objetivo principal el estudio de plantas infravaloradas silvestres inherentes a dos épocas del año, tradicionalmente consumidas en el litoral valenciano. Las plantas silvestres comestibles son una fuente importante de alimentos saludables. Estas plantas crecen espontáneamente dependiendo de la temporada. Al ser plantas autóctonas, son más resistentes al cambio climático, más competitivas en su adaptación a su entorno, además de aportar nuevos sabores y aromas a los platos cotidianos.

En este trabajo se tipificaron las características nutricionales y aromáticas en *Portulaca oleracea* L. (verdolaga) y *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass (quirquiña), como plantas infravaloradas propias de la estación primavera-verano, así como en *Tropaeolum majus* L. (capuchina), *Stellaria media* (L.) Vill (pamplina), *Sonchus oleraceus* L. (cerraña), *Diplotaxis erucoides* (L.) DC (wasabi mediterráneo), *Chenopodium album* L. (cenizo), como plantas inherentes a la estación otoño-invierno.

Este estudio ha incluido la caracterización y comparación de la calidad nutricional de las siete especies, así como el contenido de distintos compuestos bioactivos que tienen propiedades funcionales. Además, se ha investigado sus perfiles volátiles como calidad aromática distintiva de interés para los consumidores. Este análisis químico cuantitativo y organoléptico tiene el fin de potenciar el consumo tradicional de estas especies o su utilización como posibles fuentes de compuestos funcionales, y al mismo tiempo como nuevos cultivos sostenibles. Este objetivo principal se ha dividido en los siguientes objetivos específicos: 1) optimización de los distintos métodos analíticos que caracterizan las muestras objeto de estudio; 2) caracterización de compuestos de interés nutricional y funcional (antioxidantes, polifenoles, clorofilas); 3) identificar los compuestos volátiles como característica aromática de las especies que influye en el sabor; 4) en las plantas de primavera-verano evaluar las diferencias entre la composición nutricional y los perfiles polifenólicos de las dos especies en condiciones de crecimiento silvestre y bajo técnicas de cultivo orgánico.

Las siete plantas de esta investigación son abundantes y aparecen espontáneamente y se presentan como malas hierbas. Sus partes aéreas comestibles fueron recolectadas en el paraje natural de la Marjal dels Moros (Sagunto, Valencia) durante las campañas agrícolas de 2020 y 2021. Todas las especies han destacado por un alto contenido en fibra y carbohidratos, siendo las hojas de *P. ruderale* las de mayor concentración, seguidas de *C. album*. El microelemento mineral prominente en todas las especies ha sido el hierro, con su valor más alto en *C. album* y el zinc en *P. oleracea*. El contenido elevado de antioxidantes totales se encontró en la especie silvestre *P. oleracea* del período primavera-verano y en la especie *T. majus* del período de otoño-invierno. Se observaron niveles uniformes de compuestos fenólicos totales en todas las especies, mientras que el contenido de clorofilas es significativamente mayor en las especies del período primavera-verano.

El estudio del perfil volátil reveló la presencia de 37 compuestos diferentes que se agruparon en 11 familias químicas, de las cuales más abundantes han sido los bencenoides, seguidos por los aldehídos de cadena media. La especie de mayor diferenciación entre todas ha sido *P. ruderale*.

En los perfiles polifenólicos de las plantas inherentes al periodo de primavera-verano se identificaron 10 compuestos fenólicos que se agruparon en dos categorías: ácidos hidroxicinámicos y flavonoides. El compuesto más abundante resultó ser el ácido clorogénico, seguido del ácido p-cumárico (*P. ruderale*) y del ácido cafeico (*P. oleracea*). Los compuestos flavonoides más abundantes fueron quercetina y miricetina.

Los resultados de este estudio proporcionan una base para la caracterización de los compuestos nutricionales, bioactivos y volátiles de las siete especies infravaloradas del litoral mediterráneo valenciano. Se encontró que la composición de nutrientes en todas las especies seleccionadas fue diferente. Algunas plantas contenían una gran cantidad de fibra, mientras que otras contenían una mayor cantidad de carbohidratos. Ninguna especie mostró una buena fuente de proteínas y lípidos. Todas las especies demostraron ser una fuente potencial de microelementos minerales, además de una fuente prometedora de componentes bioactivos como antioxidantes, compuestos fenólicos y clorofilas. Este estudio es el primer informe que evalúa los perfiles volátiles y la identificación de los aromas diferenciadores de las siete especies silvestres infravaloradas que proporcionan una base para la caracterización preliminar de sus cualidades aromáticas.

Los resultados evidencian que estas plantas son una buena fuente de nutrientes y de compuestos bioactivos. Su calidad nutricional y su prometedora cantidad de compuestos funcionales contribuirán en gran medida al conocimiento de estas plantas que, por sus características nutricionales y bajo contenido energético, podrían formar parte de una alimentación saludable con beneficios para la salud. Además, por sus valores organolépticos, podrían contribuir a la diversificación de los ingredientes gastronómicos y rescatar la calidad de los productos tradicionales. Por lo tanto, es importante conservar estos recursos fitogenéticos de plantas silvestres, para salvaguardar la biodisponibilidad y revalorizar su uso alimentario, como parte de las tradiciones gastronómicas y como recursos potenciales para la producción sostenible.

La Tesi Doctoral amb el títol “Caracterització nutricional i aromàtica d'espècies infravalorades de fulla comestible” ha plantejat com a objectiu principal l'estudi de plantes infravalorades silvestres inherents a dues èpoques de l'any, tradicionalment cultivades al litoral valencià. Les plantes silvestres comestibles són una font important d'aliments saludables. Aquestes plantes creixen espontàniament depenent de la temporada. Al ser plantes autòctones, són més resistents al canvi climàtic, més competitives en la seva adaptació al seu entorn, a més d'aportar nous sabors i aromes als plats quotidians.

En aquest treball es van tipificar les característiques nutricionals i aromàtiques a *Portulaca oleracea* L. (verdolaga) i *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass (quirquinya), com a plantes infravalorades pròpies de l'estació primavera-estiu, així com a *Tropaeolum majus* L. (caputxina), *Stellaria mitjana* (L.) Vill (pamplina), *Sonchus oleraceus* L. (serralla), *Diplotaxis erucoides* (L.) DC (wasabi mediterrani), *Chenopodium album* L. (cenís), com a plantes inherents a l'estació tardor-hivern.

Aquest estudi ha inclòs la caracterització i comparació de la qualitat nutricional de les set espècies, així com el contingut de diferents compostos bioactius que tenen propietats funcionals. A més, s'ha investigat els seus perfils volàtils com a qualitat aromàtica distintiva d'interès per als consumidors. Aquest anàlisi químic quantitatiu i organolèptic té la finalitat de potenciar el consum tradicional d'aquestes espècies o la seva utilització com a possibles fonts de compostos funcionals, i al mateix temps com a nous cultius sostenibles. Aquest objectiu principal s'ha dividit en els objectius específics següents: 1) optimització dels diferents mètodes analítics que caracteritzen les mostres objecte d'estudi; 2) caracterització de compostos d'interès nutricional i funcional (antioxidants, polifenols, clorofil·les); 3) identificar els compostos volàtils com a característica aromàtica de les espècies que influeix en el sabor; 4) a les plantes de primavera-estiu avaluar les diferències entre la composició nutricional i els perfils polifenòlics de les dues espècies en condicions de creixement silvestre i sota tècniques de cultiu orgànic.

Les set plantes d'aquesta investigació són abundants i apareixen espontàniament i es presenten com a males herbes. Les seves parts aèries comestibles van ser recol·lectades en el paratge natural de la Marjal dels Moros (Sagunt, València) durant les campanyes agrícoles de 2020 i 2021. Totes les espècies han destacat per un alt contingut en fibra i carbohidrats, sent les fulles de *P. ruderale* les de major concentració, seguides de *C. album*. El microelement mineral prominent a totes les espècies ha estat el ferro, amb el seu valor més alt a *C. album* i el zinc a *P. oleracea*. El contingut elevat d'antioxidants totals es va trobar a l'espècie silvestre *P. oleracea* del període primavera-estiu i a l'espècie *T. majus* del període de tardor-hivern. S'observen nivells uniformes de compostos fenòlics totals en totes les espècies, mentre que el contingut de clorofil·les és significativament major a les espècies del període primavera-estiu.

L'estudi del perfil volàtil va revelar la presència de 37 compostos diferents que es van agrupar en 11 famílies químiques de les quals han estat més abundants els bencenoides, seguits pels aldehids de cadena mitjana. L'espècie de major diferenciació entre totes ha estat *P. ruderale*. Als perfils polifenòlics de les plantes inherents al període de primavera-estiu es van identificar 10 compostos fenòlics que es van agrupar en dues categories: àcids hidroxicinàmics i flavonoides. El compost més abundant va resultar ser l'àcid clorogènic, seguit de l'àcid p-

cumàric (*P. ruderale*) i de l'àcid cafeic (*P. oleracea*). Els compostos flavonoides més abundants van ser quercetina i miricetina.

Els resultats d'aquest estudi proporcionen una base per a la caracterització dels compostos nutricionals, bioactius i volàtils de les set espècies infravalorades del litoral mediterrani valencià. Es va trobar que la composició de nutrients a totes les espècies seleccionades va ser diferent. Algunes plantes contenen una gran quantitat de fibra, mentre que altres contenen una major quantitat de carbohidrats. Cap espècie no va mostrar una bona font de proteïnes i lípids. Totes les espècies van demostrar ser una font potencial de microelements minerals, a més d'una font prometedora de components bioactius com a antioxidants, compostos fenòlics i clorofil·les. Aquest estudi és el primer informe que avalua els perfils volàtils i la identificació de les aromes diferenciadores de les set espècies silvestres infravalorades que proporcionen una base per a la caracterització preliminar de les seves qualitats aromàtiques.

Els resultats evidencien que aquestes plantes són una bona font de nutrients i compostos bioactius. La seva qualitat nutricional i la quantitat prometedora de compostos funcionals contribuiran en gran mesura al coneixement d'aquestes plantes que, per les seves característiques nutricionals i baix contingut energètic, podrien formar part d'una alimentació saludable amb beneficis per a la salut. A més, pels seus valors organolèptics podrien contribuir a la diversificació dels ingredients gastronòmics i rescatar la qualitat dels productes tradicionals.

Per tant, és important conservar aquests recursos fitogenètics de plantes silvestres, per salvaguardar la biodisponibilitat i revaloritzar-ne l'ús alimentari, com a part de les tradicions gastronòmiques i com a recursos potencials per a la producció sostenible.

The main objective of the Doctoral Thesis with the title "Nutritional and aromatic characterization of undervalued edible leafy species" is the study of undervalued wild plants inherent to two seasons of the year, traditionally consumed in the Valencian coast. Edible wild plants are an important source of healthy foods. These plants grow spontaneously depending on the season. Being native plants, they are more resistant to climate change, more competitive in their adaptation to their environment, as well as bringing new flavors and aromas to everyday dishes.

In this work, nutritional and aromatic characteristics were typified in *Portulaca oleracea* L. (purslane) and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass (quirquiña), as undervalued plants typical of the spring-summer season, as well as in *Tropaeolum majus* L. (nasturtium), *Stellaria media* (L.) Vill (chickweed), *Sonchus oleraceus* L. (sowthistle), *Diploaxis eruroides* (L.) DC (Mediterranean wasabi), *Chenopodium album* L. (white goosefoot), as plants inherent to the autumn-winter season.

This study has included the characterization and comparison of macro and micronutrients content, which determine the proximal composition and nutritional quality of the seven species, as well as the content of different bioactive compounds that have functional properties. In addition, their volatile profiles have been investigated as a distinctive aromatic quality of interest to consumers. This quantitative chemical and organoleptic analysis aim to enhance the traditional consumption of these species or their use as potential sources of functional compounds, and at the same time as new sustainable crops. This main objective has been divided into the following specific objectives: 1) optimization of the different analytical methods characterizing the samples under study; 2) characterization of compounds of nutritional and functional interest (antioxidants, polyphenols, chlorophylls); 3) identification of volatile compounds as an aromatic characteristic of the species that influences flavor; 4) in spring-summer plants to evaluate the differences between the nutritional composition and polyphenolic profiles of the two species under wild growth conditions and under organic farming techniques.

The seven plants of this research are abundant and spontaneously occurring weeds. Their edible parts were collected in the natural area of Marjal dels Moros (Sagunto, Valencia) during the 2020 and 2021 agricultural campaigns. All species were noted for their high fiber and carbohydrate content, with the leaves of *P. ruderale* having the highest concentration, followed by *C. album*. The lowest caloric value among all species corresponded to *T. majus* and the highest caloric levels were found in *P. ruderale* and *P. oleracea*. The prominent trace mineral element in all species was iron, with its highest value in *C. album* and zinc in *P. oleracea*. High total antioxidant content was found in the wild *P. oleracea* species from the spring-summer period and in the *T. majus* species from the autumn-winter period. Uniform levels of total phenolic compounds were observed in all species, while the chlorophyll content is significantly higher in the spring-summer period species.

The study of the volatile profile revealed the presence of 37 different compounds that were grouped into 11 chemical families, of which the most abundant were benzenoids, followed by medium-chain aldehydes. In the polyphenolic profiles of the plants inherent to the spring-summer period, 10 phenolic compounds were identified and grouped into two

categories: hydroxycinnamic acids and flavonoids. The most abundant compound was chlorogenic acid, followed by p-coumaric acid (*P. ruderale*) and caffeic acid (*P. oleracea*). The most abundant flavonoid compounds were quercetin and myricetin.

The results of this study provide a basis for the characterization of nutritional, bioactive and volatile compounds of the seven undervalued species from the Valencian Mediterranean coast. It was found that the nutrient composition in all the selected species was different. Some plants contained a high amount of fiber, while others contained a higher amount of carbohydrates. No species showed a good source of protein and lipids. All species proved to be a potential source of mineral trace elements, as well as a promising source of bioactive compounds such as antioxidants, phenolic compounds, and chlorophylls. This study is the first report to evaluate the volatile profiles and identification of the differentiating aromas of the seven undervalued wild species that provide a basis for preliminary characterization of their aromatic qualities.

The results show that these plants are a good source of nutrients and bioactive compounds. Their nutritional quality and their promising amount of functional compounds will contribute greatly to the knowledge of these plants that, due to their nutritional characteristics and low energy content, could be part of healthy diets with health benefits. In addition, due to their organoleptic values, they could contribute to the diversification of gastronomic ingredients and rescue the quality of traditional products. Therefore, it is important to conserve these wild plant genetic resources in order to safeguard their bioavailability and revalue their food use as part of gastronomic traditions and as potential resources for sustainable production.

	Página	
I.	INTRODUCCIÓN	1
I.1.	LAS PLANTAS SILVESTRES	1
I.1.1.	Las plantas silvestres, la alimentación y la nutrición	4
I.1.2.	Plantas silvestres comestibles y salud	7
I.1.3.	Plantas silvestres y la dieta mediterránea	9
I.1.4.	Plantas silvestres y los Objetivos de Desarrollo Sostenible	11
I.2.	PRINCIPIOS NUTRICIONALES Y BIOACTIVOS DE LAS PLANTAS SILVESTRES	16
I.3.	PLANTAS SILVESTRES Y TRADICIONES GASTRONÓMICAS	26
I.4.	APROXIMACIONES ANALÍTICAS PARA EL ESTUDIO DE LAS PLANTAS SILVESTRES	30
I.5.	REFERENCIAS INTRODUCCIÓN	36
II.	OBJETIVOS	43
III.	PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	45
III.1.	IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES INFRAVALORADAS	45
III.2.	ÁREA DEL ESTUDIO	46
III.3.	FICHAS DE LAS ESPECIES DEL ESTUDIO EN FUNCIÓN DE ESTACIONALIDAD DE CADA GRUPO	50
III.3.1.	Plantas de primavera-verano	52
III.3.2.	Plantas de otoño-invierno	54
III.4.	REFERENCIAS PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	59
IV.	PUBLICACIONES	60
IV.1.	CAPÍTULO 1: CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS DOS PLANTAS SILVESTRES inherentes al período primavera-verano	60
IV.2.	CAPÍTULO 2: CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS CINCO PLANTAS SILVESTRES inherentes al período otoño-invierno	92
IV.3.	CAPÍTULO 3: PERFILES VOLÁTILES DE LAS SIETE PLANTAS SILVESTRES INFRAVALORADAS	117
V.	DISCUSIÓN GENERAL	140
V.1.	CALIDAD NUTRICIONAL	141
V.1.1.	Plantas inherentes al período de primavera-verano: <i>P. ruderale</i> y <i>P. oleracea</i>	141
V.1.2.	Plantas inherentes al período de otoño-invierno: <i>S. media</i> , <i>T. majus</i> , <i>S. oleraceus</i> , <i>C. album</i> , <i>D. erucoides</i>	145
V.2.	COMPUESTOS BIOACTIVOS	148
V.2.1.	Contenido de fenoles y antioxidantes totales	148
V.2.2.	Perfil polifenólico	150
V.2.3.	Contenido de clorofilas	152
V.3.	PERFIL DE VOLÁTILES	153
V.4.	DISPONIBILIDAD LOCAL, RECOLECCIÓN Y POSIBILIDADES DE USO DE LAS PLANTAS INFRAVALORADAS	157
V.5.	REFERENCIAS	158
VI.	CONCLUSIONES	164

ÍNDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1. Categorías de uso etnobotánico de la península Ibérica (adaptado desde fuente: Morales Valverde et al., 2011)	2
Figura 2. Familias botánicas con mayor número de especies en función de categorías de uso (adaptado desde fuente: Tardío et al., 2006): A) categoría hortalizas verdes; B) categoría temporalidad de recolección	3
Figura 3. Relación de los diferentes tipos de uso de alimentos silvestres	5
Figura 4. Presencia de verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i> L.) en el mercado local de la plaza Campo di fiore (Roma, Italia)	10
Figura 5. Posicionamiento central de la biodiversidad en el cumplimiento de los ODS	13
Figura 6. Esquema de la estrategia experimental en la aproximación analítica para el estudio de las plantas silvestres	32
Figura 7. Proceso reactivo en que se basa la cuantificación de antioxidantes totales (a) y polifenoles totales (b)	33
Figura 8. Estrategias de análisis para compuestos volátiles (fuente: Tholl et al., 2006): (a) Las fuentes típicas de emisiones de compuestos volátiles; (b) Consideraciones para la planificación de experimentos de análisis de volátiles	35
Figura 9. Ubicación de la zona Marjal dels Moros: A) Localización geográfica del área (adaptado desde fuente: Atlas 2021 ; Antequera y Hermosilla, 2021); B) Vista panorámica del humedal	48
Figura 10. Climograma resultante de la zona Sagunto, período de 2010-2020	49

ÍNDICE DE TABLAS	Página
Tabla 1. Principales fitoquímicos con actividad funcional (adaptado desde fuente: Bello, 2006)	18
Tabla 2. Propiedades organolépticas atribuidas a los compuestos fenólicos (fuente: Creus, 2004)	20
Tabla 3. Clasificación de los polifenoles, no flavonoides, y ejemplos de ellos (adaptado desde fuente: Quiñones et al., 2012)	21
Tabla 4. Clasificación de los polifenoles, flavonoides, y ejemplos de ellos (adaptado desde fuente: Quiñones et al., 2012)	22
Tabla 5. Características oceanográficas del área costera mediterránea (adaptado desde fuente: Barragán Muñoz, 2004)	49

ANEXO 1: TRABAJOS DERIVADOS	168
ANEXO 2: JOURNAL IMPACT	194

I. INTRODUCCIÓN

I.1. LAS PLANTAS SILVESTRES

La naturaleza es sabia y generosa, además de ser el hogar global del ser humano, por lo que se merece el cuidado de todos y cada una de las especies que en él habitan, ya que de ello depende la salud del planeta y, por consiguiente, la salud humana.

El reino vegetal en su constante evolución ha sido el sustento indispensable para la humanidad. A lo largo de miles de años, el ser humano mantuvo una dinámica interacción con su entorno y las plantas tenían una estrecha relación con los diferentes aspectos de la vida social, económica y cultural de los antiguos pueblos (Buxó, 2006). En esta relación cada pueblo y cada cultura ha ido adquiriendo los conocimientos y saberes sobre su entorno que en su conjunto forman parte de un patrimonio inmaterial incalculable sobre la biodiversidad (Molina, 2014). En este sentido, las plantas silvestres han sido una fuente vital de alimentos y recursos medicinales, ya que estas aplicaciones han sido y siguen siendo fundamentales para la supervivencia humana.

El concepto de plantas silvestres es muy amplio, pero concretamente hace referencia a las especies vegetales que crecen espontáneamente, en poblaciones capaces de conservarse de forma autónoma, sin la intervención del ser humano, ya sea en ecosistemas naturales o ambientes intervenidos y desequilibrados. En particular, el término planta silvestre comestible hace referencia a las plantas de naturaleza silvestre que pueden utilizarse como alimento, y que no han sido cultivadas o domesticadas.

A pesar de la importancia, como fuente de biodiversidad, como recurso natural y como recurso económico, el patrimonio cultural, tradicional y gastronómico de estas especies está disminuyendo, como consecuencia de factores relacionados con la globalización y modernización de las dietas alimentarias y del consumo, con mayor incidencia en las jóvenes generaciones. Por otra parte, la práctica de una agricultura industrializada ha impactado fuertemente sobre las prácticas tradicionales, en algunos casos imponiendo especies para la alimentación, y en otros casos destruyendo la biodiversidad autóctona de los territorios, generando amenazas relacionadas con los cambios en las prácticas de uso del suelo, el cambio climático y la pérdida o degradación de los hábitats naturales. En consecuencia, estas amenazas han afectado negativamente a la disponibilidad y calidad de las especies silvestres, pasando en algunos casos a ser plantas desatendidas, infravaloradas e infrutilizadas (Jarvis *et al.*, 2008). Además, la falta de información veraz y avalada científicamente, sobre todo en el caso de las plantas silvestres, hace que algunas especies adquieran ese estatus de infravaloradas y/o incluso olvidadas. En esta situación, agravada por la preocupación de sostenibilidad y seguridad

alimentaria, una base de datos sobre las investigaciones científicas de las plantas silvestres comestibles puede ayudar a diversificar su ingesta saludable y salvaguardar la biodiversidad regional como potencial agrícola y posible recurso fitogenético, proporcionando al unísono un valor añadido a los recursos locales.

En paralelo al desarrollo de nuevos métodos biotecnológicos, las especies silvestres se están transformando en factores cada vez más importantes para la mejora genética de especies cultivadas. Se estima que hay entre 50000-60000 especies silvestres en todo el mundo (Maxted y Kell, 2009) y solo 700 de ellas son de máxima prioridad, constituyendo las reservas genéticas primarias y secundarias de los cultivos alimentarios más importantes del mundo. Adicionalmente, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación estima que se ha perdido el 75% de la diversidad genética de los cultivos del mundo (Waldron *et al.*, 2017). Mientras que a nivel mundial, la alimentación actual depende mayoritariamente de cuatro grandes cultivos, el trigo, patata, maíz y arroz.

Comparando la situación de las especies vegetales en la península Ibérica, la categoría de especies de uso alimentario (8%) alcanza la mitad del número de las plantas de uso medicinal (16%) (Figura 1), lo que indica un fuerte desarrollo de estrategias de investigación para las plantas de uso medicinal frente a las investigaciones carentes de uso alimentario. Dentro de las plantas alimentarias, además, se pueden diferenciar las especies silvestres que predominan (7%) y las cultivadas (1%).

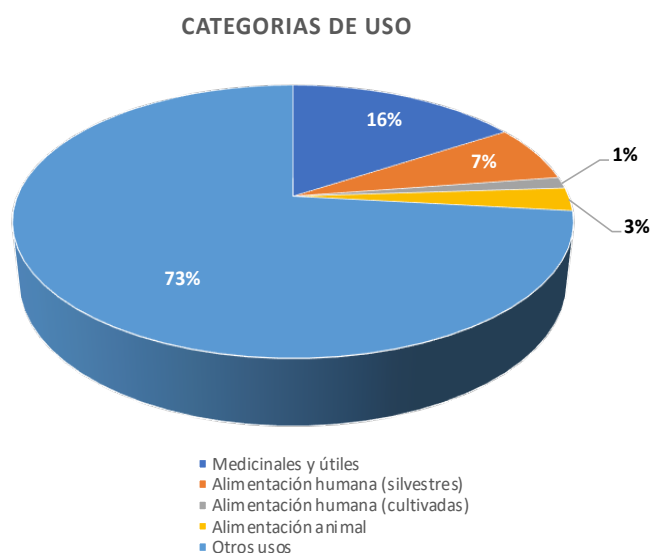


Figura 1. Categorías de uso etnobotánico de la península Ibérica (adaptado desde fuente: Morales Valverde *et al.*, 2011)

Tanto es así, que de 7000 especies que se han utilizado con varios fines por el ser humano a lo largo de la historia, para la alimentación, solo unas 150 se cultivan actualmente para

consumo humano y animal. El resto de las especies vegetales están infrautilizadas e infravaloradas, provocando la pérdida de agrobiodiversidad (Spina *et al.*, 2008; Chatzopoulou *et al.*, 2020), aunque el estudio realizado por Morales Valverde *et al.* (2011) destaca además otros usos de los vegetales que son usos industriales y artesanales, ornamentales, agrosilvopastoril y culturales.

Las familias a las que pertenecen la mayoría de las especies alimentarias silvestres son similares en las diferentes áreas. En la cuenca mediterránea española, las 419 especies registradas en la base de datos como hortalizas silvestres pertenecen a 67 familias diferentes que predominantemente son Apiaceas, Lauraceas, Myristaceas, Lamiaceas, Asteraceas, Rosaceas, Piperaceas, Verbenaceas y Rutaceas (Tardío *et al.*, 2006). Según esta investigación, de las plantas alimenticias silvestres consumidas en España un tercio pertenecen a la familia Asteraceas (32%) que muestra el mayor número de las especies verdes utilizadas (Figura 2A).

En general, la mayoría de las especies se recolectan como las hortalizas de primavera, aunque en las áreas más cálidas, especialmente en las tierras bajas del sur y este mediterráneo, las hortalizas silvestres pueden cosecharse también en el invierno, siendo la familia Lamiaceae (52%), la más representativa en función de la estacionalidad (Figura 2B). La estacionalidad y la proximidad de las especies vegetales, otorga un valor adicional, en relación con la calidad nutricional, ya que estos dos factores contribuyen a alcanzar las cantidades óptimas, tanto de los nutrientes, como de los compuestos bioactivos entre los cuales se encuentran polifenoles, vitaminas y antioxidantes, entre otros, que son exclusivos del mundo vegetal y proporcionan beneficios para la salud humana.

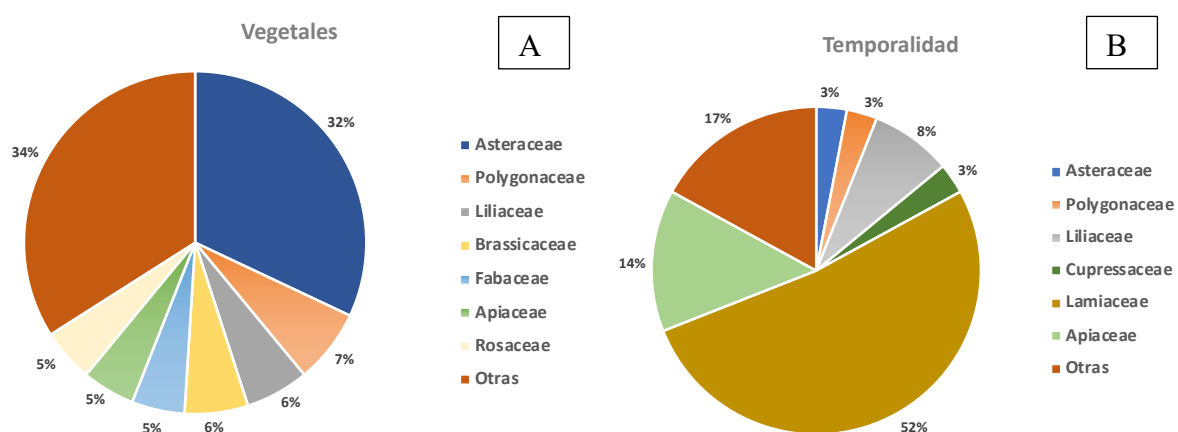


Figura 2. Familias botánicas con mayor número de especies en función de categorías de uso (adaptado desde fuente: Tardío *et al.*, 2006): A) categoría hortalizas verdes; B) categoría temporalidad de recolección.

I.1.1. Las plantas silvestres, la alimentación y la nutrición

En el momento actual, con una población en expansión, con climas, plagas y enfermedades cambiantes, con una escasez de recursos cada vez más evidente y desordenes económicos y sociales, la utilización sostenible de recursos fitogenéticos autóctonos y de naturaleza silvestre, ofrece grandes oportunidades a nivel territorial ya que estos recursos muestran resistencia al estrés biótico/abiótico y al cambio climático en general, y con mayor eficiencia en el empleo de insumos, pueden generar productos de alta calidad, convirtiéndose en una importante fuente de alimentos para muchas personas, particularmente en las regiones más pobres del mundo. En concreto, [Rowland *et al.* \(2017\)](#) indican que en comunidades que dependen de los bosques en Asia, África y América Latina entre 2004 y 2010, más del 53,5% de los hogares consumían al menos un tipo de alimento de procedencia silvestre y que en la actualidad está quedando en el olvido. Además, las plantas silvestres comestibles proporcionan recursos genéticos para los programas de mejoramiento de cultivos y contribuyen al suministro de muchos servicios ecosistémicos que sustentan la producción de alimentos locales.

En el informe de [FAO \(2019\)](#) sobre el estado de la biodiversidad y los recursos fitogenéticos, se informa que aproximadamente el 17% de los países tienen un uso regular de alimentos de origen silvestre (tanto de origen animal como vegetal), incrementándose al 28,6%, los países que manifiestan un uso habitual, pero por grupos específicos de población, siendo el aprovechamiento comercial el principal uso de estos alimentos, seguido del uso lúdico y el empleo regular como alimento de autoconsumo (Figura 3). Algunos países identifican la necesidad de cuantificar y aclarar los efectos del uso de alimentos silvestres en la salud y el bienestar humano, incluidos en algunos casos no solo los impactos nutricionales sino también los efectos en la vida cultural y los posibles efectos de reducción del estrés de la recolección de alimentos silvestres.

Los patrones de consumo actuales han modificado la producción de frutas y hortalizas, reduciendo la biodiversidad de las especies, y con ello, el acervo cultural ligado a la agricultura, ajustando la producción a las preferencias de consumo y poniendo en riesgo la disponibilidad actual y futura de una amplia variedad de frutas y hortalizas. Un ejemplo significativo es que el 39% de las 883 especies de frutas y hortalizas silvestres evaluadas a nivel mundial requiere conservación urgente porque están mal o no conservadas en bancos de germoplasma o en áreas protegidas; otro 58% tendrían una prioridad media para su conservación y solo el 3% estaría suficientemente protegido ([Harris *et al.*, 2022](#)).

Para abordar la desnutrición en todas sus formas hay que marcar directrices que apoyen el desarrollo de una agricultura sensible a la nutrición y que tenga en cuenta la biodiversidad procedente de la composición nutricional, en particular, incrementando las variedades de las especies silvestres infrautilizadas como alimento debido a que en la actualidad los hábitos alimentarios experimentan un importante cambio donde predominan los alimentos de origen animal y los alimentos altamente procesados (Rodríguez *et al.*, 2015).

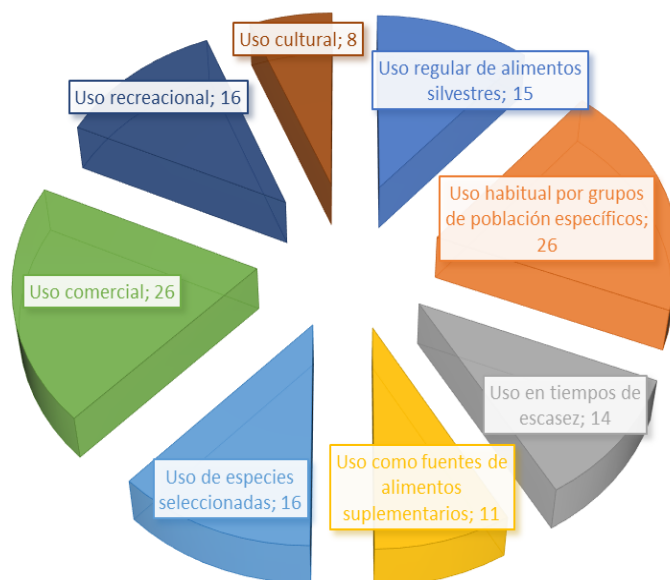


Figura 3. Relación de los diferentes tipos de uso de alimentos silvestres.

En un período relativamente corto de tiempo, se ha pasado del consumo de alimentos de temporada elaborados a base de productos locales, a dietas hipercalóricas con un alto contenido de alimentos ultraprocesados lo que a lo largo repercute en la salud. Estos cambios han implicado pérdida de los productos tradicionales y de la diversa gastronomía local. Tanto es así, que muchas especies comestibles están pasando a ocupar el lugar de plantas arvenses o mal llamadas “malas hierbas”.

Una mala hierba se define como la planta silvestre que crece donde no se la quiere y que compite con las plantas cultivadas o cultivo principal. En la mayoría de los casos son plantas que han resistido el impacto de los herbicidas, incluso manifestando resistencias. Las malas hierbas se consideran plantas frondosas que crecen dentro o en los bordes de los campos de cultivo y que no han sido plantadas a propósito. Las plantas arvenses que crecen de forma autónoma generalmente se consideran plantas indeseables desde la perspectiva humana (Maroyi, 2013). Sin embargo, varios estudios muestran que algunas plantas que serían

erradicadas por los herbicidas son algo más que un enemigo agrícola, ya que constituyen una parte considerable de las cestas de alimentos rurales en los países en desarrollo (Cruz-García y Price 2012, Maroyi 2013), en particular en tiempos de crisis cuando fallan los principales cultivos (Shava *et al.*, 2009).

Los alimentos silvestres en general y las plantas en particular han demostrado ser importantes para la estabilidad global, ya que potencialmente son un medio para mantener la ingesta de alimentos en caso de crisis, que afecten a la producción de las especies domesticadas o al acceso de producción de alimentos en general (Thondhlana y Muchapondwa, 2014). Así, el consumo de alimentos silvestres aumenta durante épocas de escasez, en tiempos de emergencia, cuando se agotan las reservas de alimentos o durante períodos posteriores a desastres naturales, malas cosechas o conflictos. Y no solo en tiempos de emergencia, las plantas silvestres son utilizadas en el ámbito rural y por la gastronomía local debido a su fácil acceso y las propiedades organolépticas que enriquecen los platos diarios. El autoconsumo en zonas rurales sin la comercialización hegemónica, en cierto modo permite salvaguardar el patrimonio genético que garantiza la conservación de la biodiversidad y aprovechamiento sostenible.

Las plantas aportan la gran mayoría de los nutrientes necesarios para cubrir las dietas humanas en todo el mundo. El hambre, vinculado a una ingesta total inadecuada de alimentos, sigue siendo un problema de vital importancia, asociado a muchas regiones del mundo en desarrollo y en algunas zonas particulares de los países desarrollados, pero hay que realizar especial incidencia, al reconocimiento creciente de problemas de salud asociados a una calidad inadecuada de los alimentos ingeridos y a la falta de nutrientes específicos en las dietas diarias. Dichos problemas son particularmente graves entre las mujeres y los niños, y pueden ser afrontados mediante el aumento de la diversidad alimentaria, para lograr una mejor calidad nutricional, en parte debido a las ventajas nutricionales de los alimentos tradicionales, acompañadas por las especies silvestres comestibles de temporada (Ghosh-Jerath *et al.*, 2021).

En lo que respecta a las especies silvestres e infrautilizadas, no es común encontrar estudios detallados sobre su importancia nutricional (Powell *et al.*, 2015). Sin embargo, la evidencia en varias partes del mundo indica que estas especies hacen contribuciones importantes a las dietas locales. Por lo general, los datos sobre el consumo de alimentos silvestres se excluyen de las estadísticas nacionales, por lo que es difícil cuantificar las aportaciones globales de los alimentos silvestres a las dietas. Otras limitaciones para poder establecer esta contribución son la variabilidad de la composición nutricional dentro de las

especies (Stadlmayr *et al.*, 2013), la nomenclatura inconsistente o incorrecta en los resultados publicados (Nesbitt *et al.*, 2010) y la falta de información sobre la composición nutricional, ya comentada. En cualquier caso, hay que considerar el soporte alimenticio que constituyen las plantas silvestres en todas las tradiciones gastronómicas del mundo y se amerita recordar y memorar sus historias, así como develar su origen (Garzón, 2016).

El aporte de micronutrientes que contribuyen muchos alimentos silvestres a veces es superior a sus contrapartes cultivadas (Rowland *et al.*, 2017; Kobori y Rodríguez-Amaya, 2008). La ingesta de estas especies silvestres puede contribuir a mermar las deficiencias de micronutrientes (minerales y vitaminas) e incluso en algunos macronutrientes como por ejemplo, proteínas y fibra, por lo tanto, hacer que las dietas sean más nutritivas y equilibradas (Broegaard *et al.*, 2017). En este contexto el aprovechamiento genético de las plantas silvestres podría tener una función útil en el desarrollo de cultivos que sean más ricos en los componentes nutricionales, pero aún se debe hacer mucho más para caracterizar y evaluar el germoplasma cultivado y el silvestre con el propósito de encontrar caracteres vinculados al aporte nutricional (Sabbadini *et al.*, 2021). Sin embargo, en muchos casos se sabe poco sobre la importancia relativa de la genética, las condiciones de producción y el procesamiento alimentario sobre el nivel y la disponibilidad de nutrientes específicos en un producto alimentario dado, más aún si es de origen silvestre.

I.1.2. Plantas silvestres comestibles y salud

En general, la composición nutricional de las especies vegetales es altamente variable y atractiva, lo que tiene implicaciones directas a favor de la salud. Los componentes principales de estas especies con beneficio para la salud incluyen, por ejemplo, varios antioxidantes, polifenoles, fibra dietética, compuestos derivados del azufre, como el sulforafano, etc.

Desde los tiempos muy remotos el consumo de diversas especies y hortalizas recolectadas de la naturaleza fue percibido como saludable o dotado de un efecto profiláctico y por lo tanto muchas de estas especies recolectados se consideraban al mismo tiempo comida y medicamento (Leonti, 2012). Las primeras referencias con relación a la salud-alimentación corresponden a unas tablillas de arcilla procedentes de Mesopotamia, de 2000 a.C., en escritura cuneiforme, encontradas en la biblioteca de Nínive (660-627 a.C.) (Torija-Isasa, 2017). También se encuentran referencias a productos con características similares procedentes de vegetales, animales y minerales, empleados por los egipcios y que se describen en el papiro de Ebers (siglo XVI a.C.) (Dias, 2009). Algunos alimentos se utilizaron como vehículo de medicamentos, como agua, vino, cerveza, vinagre, aceites, como el aceite de oliva y de sésamo. Para encontrar textos

que relacionan el consumo de alimentos y la salud, hay que ahondar en la época greco-romana clásica. Es allí donde las figuras como Hipócrates, Galeno o Pitágoras instauran la importancia del mantenimiento de la salud o su mejora a través de la dieta. Desde la época de Hipócrates (460-375 a.C.), una alimentación sana, equilibrada y diversa que varía en función del clima y las estaciones, se considera un recurso para recuperar la salud y un medio de prevención y conservación de esta, en las personas sanas (Torija-Isasa, 2017).

A lo largo de los siglos y hasta el momento actual, se han producido grandes avances de la ciencia en las diversas disciplinas, entre ellas la química, bioquímica, alimentación y nutrición, así como en la propia medicina. El avance de la química y de la nutrición ha permitido el establecimiento y desarrollo de otras disciplinas relacionadas con la calidad de los alimentos, que consienten para determinar la relación entre diferentes constituyentes y su incidencia en la salud. Apareció también una nueva rama como es la bromatología relacionada con la ciencia de los alimentos y su composición y funciones, que permite establecer recomendaciones dietéticas personales y llegar a una posible elección personalizada de los alimentos (Bello, 2006). No obstante, la gran paradoja del mundo globalizado es que, a pesar de la abundancia de alimentos y todos los avances científicos, hay más muertes por enfermedades relacionadas con la alimentación y hábitos alimentarios, que por otras causas más violentas. Según la OMS las diez causas principales de fallecimiento en la época moderna están vinculadas a la salud y la alimentación.

En paralelo, las personas consumidoras muestran cada vez más interés por conocer las propiedades beneficiosas de los distintos alimentos, conocidos desde antaño o novedosos en relación con la salud (Torija-Isasa, 2017). Esto se ha evidenciado con mayor magnitud, por la situación generada ante la pandemia del COVID-19, que todavía sigue presente en el año 2022 y que ha mostrado la necesidad de cambio en muchos aspectos de la vida moderna, entre los cuales se incluyen la sostenibilidad alimentaria, relocalización del sistema alimentario y la conservación de las plantas infravaloradas como recursos futuros, siendo éstos uno de los desafíos sociales más apremiantes del siglo XXI, en el sentido de proporcionar alimentos saludables para la creciente población mundial (Willett *et al.*, 2019).

La riqueza que suponen los productos naturales vegetales tanto por su diversidad como por su aprovechamiento, junto con el aumento de las enfermedades degenerativas han llevado a que las investigaciones sobre las plantas silvestres estén tomando mucho auge (Morales Valverde *et al.*, 2011). Sin embargo, las plantas comestibles infravaloradas todavía son poco estimadas en relación a sus características nutritivas, componentes bioactivos y propiedades

organolépticas que aportan (Fukalova Fukalova *et al.*, 2021). Todavía, las investigaciones en su mayoría se centran en las propiedades etnofarmacológicas, dejando de lado la calidad nutricional-funcional que puede proporcionar un valor añadido, contribuyendo en los requerimientos de la ingesta diaria como por ejemplo en fibra y micronutrientes, cuya ingesta está aliada con la salud y bienestar. Tanto es así, que la calidad de los ingredientes y no la cantidad en el plato es lo más importante para que la dieta sea equilibrada y saludable, sin olvidar su variabilidad donde las especies silvestres infravaloradas pueden jugar un papel enriquecedor y de experimentación para las tendencias culinarias.

I.1.3. Plantas silvestres y la dieta mediterránea

El uso de plantas silvestres está más extendido en el sur de Europa que en la parte central y norte del continente europeo. Es probable que esta situación se relacione con el aserto de que la cuenca del Mediterráneo alberga una de las floras más ricas y diversas del mundo, formada por unas 25000 especies, gran parte de las cuales, más del 50%, es endémica de este territorio. Esta riqueza ha influido sin duda, en que la región mediterránea es uno de los territorios del planeta que más ha contribuido al desarrollo de la agricultura y la selección de variedades comestibles a partir de la flora silvestre (Güemes, 2019).

Las verduras silvestres siempre han sido una parte importante de la cocina local y de actividades gastronómicas tradicionales, como los encurtidos y salazones. Durante mucho tiempo, se ha empleado una gran variedad de plantas no cultivadas, en las dietas de regiones mediterráneas y son un recurso valioso en los países como Italia, Grecia, España, Francia y Turquía (Pardo de Santayana *et al.*, 2005; Heywood, 2011; Blanco-Salas *et al.*, 2019). Las plantas silvestres han sido y son un complemento estacional de las dietas y las tradiciones mediterráneas, que han hecho posible que un número considerable de ellas permanezcan presentes en la dieta humana (Torija-Isasa y Matallana-González, 2016).

Tardío *et al.* (2010) hacen hincapié que cerca de 6,4% de la flora española ha sido utilizada en la dieta en diferentes formas. No obstante, cada vez más la disponibilidad de las especies comestibles se encuentra afectada por el modelo de agricultura imperante y actualmente algunas hortalizas que se explotaban en el pasado están abandonadas y asilvestradas (Luczaj y Pieroni, 2016). Y en el caso de que todavía se utilicen estas verduras silvestres, suelen consumirse en función de su temporalidad, lo que proporciona un óptimo desarrollo al vegetal, acorde a las condiciones edafoclimáticas, sin forzar las condiciones de cultivo, lo que ofrece a cada especie una composición nutricional y funcional más equilibrada y acorde a las condiciones de bajos insumos.

Desde 2010 la dieta mediterránea fue declarada por [UNESCO \(2017\)](#) Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad, exponiéndose como un modelo nutricional que incluye el consumo de alimentos de origen vegetal que contribuyen a la salud ([González y Medina, 2012](#)). Además, la dieta mediterránea comprende un conjunto de conocimientos, competencias prácticas, rituales, tradiciones y símbolos relacionados con los cultivos y cosechas agrícolas, la pesca y la cría de animales, y también con la forma de conservar, transformar, cocinar, compartir y consumir los alimentos. Asimismo, desempeña un papel esencial de factor de cohesión social en los espacios culturales, festejos y celebraciones, al agrupar a gentes de todas las edades, condiciones y clases sociales. También abarca ámbitos como la artesanía y la fabricación de recipientes para el transporte, conservación y consumo de alimentos, como platos de cerámica y vasos. Las mujeres ejercen un papel fundamental en la transmisión de las competencias y conocimientos relacionados con la dieta mediterránea, salvaguardando las técnicas culinarias, respetando los ritmos estacionales, observando las fiestas del calendario y transmitiendo los valores de este elemento del patrimonio cultural a las nuevas generaciones. Por su parte, los mercados locales de alimentos (Figura 4) también desempeñan un papel fundamental como espacios culturales y lugares de transmisión de la dieta mediterránea en los que la práctica cotidiana de intercambios, fomenta la concordia y el respeto mutuo. Las recetas típicas de los lugares donde se mantiene la dieta mediterránea y el uso de los productos de temporada y de proximidad, se combinan las plantas silvestres y las cultivadas de diversas formas lo que enriquece la gastronomía local ([Guarrera y Savo, 2013](#)).



Figura 4. Presencia de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) en el mercado local de la plaza Campo di fiore (Roma, Italia).

Las formas en las que se consumen las especies silvestres son en fresco (ensaladas), cocidas (sopas y guisos) o como condimentos para mejorar los sabores y texturas de los platos diarios. Debido a esta estrecha relación entre la diversidad cultural y agrobiológica, dar un valor social, cultural y económico a los recursos locales y de proximidad permitirá conservar las tradiciones para generaciones futuras (Rivera *et al.*, 2006).

Finalmente, cabe mencionar que en algunos países de la región mediterránea, como España, Italia y Turquía, siguen realizándose estudios de adaptación al cultivo de plantas silvestres comestibles de importancia cultural, con el objetivo de realizar la caracterización y evaluación agronómica, con el fin de mejorar el conocimiento y preservación de los recursos fitogenéticos (Güemes, 2019). En estos estudios, la caracterización nutricional y el valor funcional de las especies silvestres y su potencial de adaptación podría ser el criterio de calidad para la recolección y su posterior consumo, así como una herramienta interesante para utilizarse con el fin de revalorizar estas especies comestibles infravaloradas.

I.1.4. Plantas silvestres y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En las últimas décadas, la importancia de la biodiversidad para la seguridad alimentaria y la nutrición, los medios de vida rurales y costeros, y el desarrollo sostenible en general, han ido adquiriendo un mayor reconocimiento en las agendas internacionales. Cronológicamente, en 1983 se creó la Comisión sobre Recursos Fitogenéticos, un organismo intergubernamental con una secretaría en la FAO, que en 1995 se convirtió en la Comisión sobre Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura y sus competencias abarcaban todos los agentes de la biodiversidad de relevancia para la alimentación y la agricultura, lo que ha generado planes de acción mundiales para los recursos genéticos en agricultura, ganadería y el sector forestal. La adopción del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) en 1992 estableció un marco legal a escala internacional, para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, incluidas las especies domesticadas y no domesticadas utilizadas para la alimentación y la agricultura, junto con la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos. En 2010 se adopta el protocolo de Nagoya, reconociendo la importancia de los recursos fitogenéticos, incluida la necesidad de reducir o eliminar la pérdida de bosques, gestionar y recolectar de manera sostenible, asegurar que las áreas dedicadas a la agricultura, la acuicultura y la silvicultura se gestionen de manera sostenible para conservar la biodiversidad, mantener la diversidad genética de las plantas y animales cultivados y sus parientes silvestres y reconocer la importancia de los conocimientos tradicionales y locales para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. En 2012 se establece la Plataforma

Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas, un organismo intergubernamental independiente que brinda a las decisiones políticas, evaluaciones científicas objetivas sobre la biodiversidad y los ecosistemas del planeta, los beneficios que ofrecen a las personas y las herramientas y métodos disponibles para protegerlos y utilizarlos de manera sostenible (FAO, 2019). Entre estas fechas destaca que el 20 de diciembre de 2013, en el sexagésimo octavo período de sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas se decidió proclamar el 3 de marzo como el Día Mundial de la Vida Silvestre para celebrar y concienciar sobre la fauna y la flora silvestres del mundo.

La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por la Organización de Naciones Unidas para el período 2015-2030, incluyen una serie de metas relacionadas con la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en el contexto de la alimentación y la agricultura. En 2016, 190 países adoptaron la Declaración de Cancún sobre la incorporación de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad para el bienestar, reconociendo que los sectores de la agricultura, la silvicultura, la pesca y el turismo dependen en gran medida de la biodiversidad y sus componentes, así como de las funciones y servicios de los ecosistemas en los que se sustenta la biodiversidad. Los ODS proporcionan un plan colectivo para lograr la Paz y la Prosperidad para el planeta. Están contruidos alrededor de 17 metas u objetivos, que abordan desafíos globales relacionados con la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia. Estos objetivos están interconectados y son interdependientes, el progreso en uno contribuye al progreso hacia los demás, y la biodiversidad es crucial para todos ellos. La figura 5 muestra la relación de los diferentes ODS y biodiversidad global entendida como el centro holístico de los 17 objetivos.

Caetano *et al.* (2015) en su investigación sobre el trabajo participativo para la conservación de cultivos subutilizados exponen que en un contexto de crisis climática, ambiental y social, las especies vegetales subvaloradas son consideradas importantes para las fincas y agricultores porque 1) aumentan los ingresos, 2) garantizan la seguridad y soberanía alimentaria y nutricional, 3) fomentan la creación de nuevos mercados, 4) garantizan la producción con bajos insumos y la estabilización de los ecosistemas, 5) colaboran al aumento de la biodiversidad, y 6) contribuyen a reducir el hambre oculta. Estos factores aportan una perspectiva etnobotánica, donde los agricultores demuestran una estrategia de transmisión de conocimientos, testimoniando la lógica rural y las formas de interactuar con las especies vegetales desvalorizadas, su entorno, las formas de uso y manejo. Contribuyendo con ello a alcanzar varios de los ODS de la agenda 2030.



Figura 5. Posicionamiento central de la biodiversidad en el cumplimiento de los ODS.

Los ODS fueron diseñados para conciliar la protección ambiental con el desarrollo socioeconómico. Los trabajos de [Zeng et al. \(2020\)](#) indican que, si bien la mayoría de los países están progresando satisfactoriamente hacia los ODS ambientales, esto tiene poca relación con la conservación real de la biodiversidad y, en cambio, representa mejor el desarrollo socioeconómico. Si esto continúa, es probable que los ODS sirvan como una cortina de humo para una mayor destrucción ambiental a lo largo de la década. Ya que, si bien los ODS han provocado un resurgimiento de la necesidad de equilibrar el desarrollo económico y social con la protección de los recursos naturales y la biodiversidad, los datos recopilados hasta el momento no reflejan este equilibrio. La diversidad en general y los recursos silvestres en particular pueden contribuir de forma significativa al cumplimiento de la gran mayoría de los ODS.



Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo

Reducir la pobreza extrema se trata de un logro notable, 1 de cada 5 personas de las regiones en desarrollo aún vive con menos de 1,25 dólares al día, y hay muchos más millones de personas que ganan algo menos de esa cantidad diaria, a lo que se añade que hay muchas personas en riesgo de recaer en la pobreza. Los recursos silvestres proporcionan una gama de productos alimenticios, pero también productos no alimenticios (madera, leña, productos medicinales, etc.) que se pueden vender para obtener efectivo que pueden contribuir en generar economía y erradicar pobreza. La biodiversidad sustenta la prosperidad económica.

Más de 70% de la población que vive en pobreza depende, al menos en parte, de los recursos naturales para generar ingresos, ya sea a través de la agricultura, la pesca, la silvicultura u otras actividades basadas en la naturaleza.



Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible

Este ODS incluye una meta para garantizar sistemas de producción de alimentos sostenibles e implementar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, que ayuden a mantener los ecosistemas, que fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, clima extremo, sequía, inundaciones y otros desastres y que mejoren progresivamente la calidad del suelo. También incluye una meta sobre el mantenimiento de la diversidad genética de las semillas, las plantas cultivadas y los animales domésticos y de granja y sus especies silvestres relacionadas, y la promoción del acceso a los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales asociados y la distribución justa y equitativa de estos. Las plantas silvestres comestibles podrían desempeñar funciones de importancia crucial para combatir la malnutrición, ya que son componentes importantes en la dieta de muchas personas. Así, las plantas silvestres, que viven en condiciones de estrés, proporcionan a veces un mayor valor nutritivo y disminuyen el riesgo de enfermedades no transmisibles (FAO, 2011).



Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades

Para lograr el desarrollo sostenible es fundamental garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos a cualquier edad. Se han obtenido grandes progresos en relación con el aumento de la esperanza de vida y la reducción de algunas de las causas de muerte más comunes relacionadas con la mortalidad infantil y materna. Sin embargo, se necesitan muchas más iniciativas para erradicar por completo una amplia gama de enfermedades y hacer frente a numerosas y variadas cuestiones persistentes y emergentes relativas a la salud. Las especies infravaloradas contribuyen a este ODS por su naturaleza nutritiva y tener propiedades medicinales, contribuyendo a la salud y bienestar de forma sostenible.



Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos

La consecución de una educación de calidad es la base para mejorar la vida de las personas y el desarrollo sostenible. Incluso cuando los alimentos silvestres no sean vitales para la seguridad alimentaria, pueden ser valorados por razones culturales y desempeñar un papel central en festividades y celebraciones, siendo la transmisión del conocimiento fundamental en el mantenimiento de los usos de estas plantas, con un papel fundamental de las mujeres en esta transmisión cultural.



Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

El objetivo del consumo y la producción sostenibles es hacer más y mejores cosas con menos recursos, incrementando las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación durante todo el ciclo de vida, logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida. El consumo y la recolección sostenibles de plantas silvestres contribuyen a fomentar el uso eficiente de los recursos y la eficiencia energética, infraestructuras sostenibles y facilitar el acceso a los servicios básicos, empleos ecológicos y decentes, y una mejor calidad de vida para todos. Su aplicación debe ayudar a lograr los planes generales de desarrollo, reducir los futuros costes económicos, ambientales y sociales, aumentar la competitividad económica y reducir la pobreza. También es necesario adoptar un enfoque sistémico y lograr la cooperación entre los participantes de la cadena de suministro, desde el productor/recolector hasta el consumidor final. Consiste en involucrar a los consumidores mediante la sensibilización y la educación sobre el consumo de las especies silvestres y los modos de vida sostenibles.



Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

Este objetivo implica proteger la salud de los riesgos climáticos y promoverla a través de un desarrollo con baja producción de carbono. Todos los países están experimentando de primera mano los efectos drásticos del cambio climático. Las emisiones de gases de efecto invernadero siguen aumentando, siendo ya superiores en más del 50% a los niveles de 1990. La mitigación del cambio climático y sus impactos requerirá aprovechar una amplia gama de medidas tecnológicas y limitar el aumento en la temperatura media global a 2 °C por encima de

los niveles preindustriales. En este sentido, las especies silvestres no requieren los insumos de las especies domesticadas y cultivadas, por lo que la huella de carbono asociada a las especies silvestres es significativamente baja y constituye un recurso alimentario que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático.



Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad

La flora provee el 80% de la dieta humana. Los bosques proveen hábitats cruciales a millones de especies y son fuente importante de aire limpio y agua. Además, son fundamentales para combatir el cambio climático. El consumo sostenible de las especies silvestres permite mantener los hábitats naturales y la biodiversidad, que son parte del patrimonio común. Un entorno natural saludable es fundamental para promover la salud y evitar enfermedades. La naturaleza es una fuente esencial de muchas sustancias utilizadas en la medicina moderna. Las especies silvestres permiten a los investigadores comprender la fisiología humana y tratar enfermedades. Los ecosistemas regulan el clima al capturar y almacenar gases de efecto invernadero. De hecho, los ecosistemas en buen estado pueden proporcionar el 37% de la mitigación, para limitar el aumento de la temperatura global.

1.2. PRINCIPIOS NUTRICIONALES Y BIOACTIVOS DE LAS PLANTAS SILVESTRES

Las enfermedades crónicas no transmisibles son la principal causa de muerte (71%) en el mundo. Por tanto, existe gran necesidad en desarrollar nuevas estrategias para prevenir el desarrollo de estas enfermedades y reducir el impacto socioeconómico, entre otros, a través del desarrollo de nuevos alimentos saludables. Además, según las proyecciones efectuadas a partir de las tendencias alimentarias y del estilo de vida actuales, una de cada dos personas estará malnutrida para 2025 (OMS, 2021). Esto se debe básicamente al consumo regular de alimentos o dietas no saludables, mientras que el consumo regular de los vegetales y frutas favorece a mantener el equilibrio de funciones vitales del organismo, ayudando a prevenir la aparición de enfermedades no transmisibles. Cambiar la alimentación y el estilo de vida se vuelve imprescindibles para revertir las tendencias actuales.

El consumo de las plantas silvestres en función de su estacionalidad todavía forma parte de las dietas locales mediterráneas, donde son apreciados por sus cualidades organolépticas y propiedades nutritivo-medicinales. Los aspectos de relevancia nutricional de las especies silvestres es el contenido de los compuestos como macronutrientes (proteínas, lípidos y

carbohidratos) y micronutrientes (minerales y vitaminas) y componentes bioactivos. La composición varía de acuerdo con la especie, su grado de desarrollo, así como de la región en la que crecen, época del año y tipo de suelo. Además, en su mayoría, las especies silvestres son bajas en calorías y grasas, por lo que podrían considerarse nutricionalmente recomendables para las dietas específicas teniendo en cuenta su composición (Grivetti y Ogle, 2000; Sánchez-Mata *et al.*, 2012; Pinedo-Espinoza *et al.*, 2020). Establecer los parámetros fisicoquímicos que avalan estas características nutricionales es motivo de constante interés, a la par que permiten dar las respuestas a los consumidores, cada vez más interesados en los aspectos relacionados con la nutrición y la salud. Por ejemplo, el alto contenido de minerales (incluyendo potasio, magnesio y calcio) de los alimentos vegetales tienden a reducir la presión arterial y pueden representar los mecanismos mediadores con los efectos protectores de alimentos con alto contenido en estos minerales (Psaltopoulou *et al.*, 2004).

Las investigaciones llevadas a cabo en la segunda mitad del siglo XX han revelado las propiedades saludables de una serie de componentes que se encuentran exclusivamente en el mundo vegetal, como metabolitos secundarios, cuyas propiedades, vinculadas a su estructura química, proporcionan efectos favorables (Bello, 2006). Estos componentes denominados fitoquímicos no tienen función energética, ni nutricional y, sin embargo, aportan diversas funciones beneficiosas. Se sintetizan de manera natural por varias rutas biocinéticas y en cantidades muy variables. Son aparentemente la parte de la estrategia de defensa de las plantas frente al estrés abiótico y biótico. Otros factores extrínsecos que afectan la síntesis de estos compuestos son las condiciones geoclimáticas y de conservación. Es por ello, por lo que los alimentos que contienen estas sustancias fitoquímicas se denominan alimentos funcionales y sus aportes van más allá del aspecto nutricional, contribuyendo a mejorar las funciones en el organismo (Chatzopoulou *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2020). Las propiedades bioactivas que proporcionan estas sustancias incluyen efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, mantenimiento de sistema inmune, anticancerígenas y, por ende, determinan la funcionalidad de las especies que los contienen (Torija-Isasa, 2017). Algunos de los compuestos fitoquímicos, a los que se les atribuyen efectos potenciales de interés, se resumen en la Tabla 1 con su actividad más representativa. Además de ejercer una actividad biológica, algunos metabolitos secundarios contribuyen en la cualidad organoléptica del alimento. Como ejemplo se puede mencionar, los principios amargos, picantes y aromáticos que se encuentran en la alcachofa (*Cynara cardunculus* L.), diente de león (*Taraxacum officinale* Webb) y

guindilla (*Capsicum annum* L.), que son efectivos en los tratamientos de trastornos digestivos y existe evidencia clínica que corrobora su eficacia (Valussi, 2012).

Tabla 1. Principales fitoquímicos con actividad funcional (adaptado desde fuente: Bello, 2006)

Compuestos fitoquímicos	Actividad potencial
Ácidos fenólicos	Anticancerígena por incidir en la actividad de ciertas enzimas e inhibir la formación de nitrosaminas.
Ácidos grasos ω-3	Prevención de enfermedades cardiovasculares.
β-glucanos	Reducen riesgo frente a enfermedades cardiovasculares.
Cafeína	Activa la circulación.
Catequinas	Ayudan al sistema inmune y reducen el riesgo de cánceres intestinales.
Fibra dietética	Disminuye el nivel de colesterol, previene los cánceres de colon y de pulmón.
Flavonoides	Anticancerígena por bloquear receptores de algunas hormonas involucradas en desarrollo de cáncer.
Isoflavonas	Reducción de niveles de colesterol.
Monoterpenos	Inhiben la producción de colesterol; actividad antioxidante.
Vitaminas antioxidantes	Previenen riesgo de tumores; modulan el envejecimiento.

Otro ejemplo son los compuestos flavonoides (incluyendo fitoesteroles y antocianinas) que se encuentran ampliamente en reino vegetal e incluyen algunos metabolitos bioactivos con acción sobre el sistema nervioso central (Vissiennon *et al.*, 2012).

Se puede distinguir cuatro grandes grupos de compuestos fitoquímicos con actividad biológica: sustancias fenólicas, sustancias terpénicas, sustancias azufradas y sustancias nitrogenadas (alcaloides). De estos cuatro grupos, son los tres primeros los que tienen mayor importancia con relevancia en la alimentación humana (Tomás Barberán, 2003). Todas estas sustancias juegan un papel importante tanto en los mecanismos de defensa de las plantas como en los compuestos de reserva y actualmente existe un enorme interés científico por su identificación y cuantificación, así como por evaluar el nivel de su capacidad antioxidante y otras actividades biológicas.

Un antioxidante es una sustancia, que retrasa, previene o anula significativamente la oxidación de otra sustancia por acción de captar radicales libres. Entre los antioxidantes más importantes se encuentran el ácido ascórbico, los carotenoides, los tocoferoles, los flavonoides, y también elementos minerales como cobre, manganeso, zinc. El consumo de antioxidantes se ha asociado con la disminución del riesgo de cáncer, enfermedad de Alzheimer, cataratas y control del envejecimiento. Los antioxidantes, incluso en bajas concentraciones, retrasan o previenen la oxidación causada por el estrés oxidativo exógeno (exposición a la luz solar,

contaminantes) o endógeno (procesos metabólicos) (Devasagayam *et al.*, 2004; Rahman *et al.*, 2012).

La familia química de compuestos fenólicos tiene como función principal en las células vegetales, actuar como metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, así como contribuir a la pigmentación de muchas partes de la planta aportando colores rojo, naranja, amarillo, púrpura o violeta. Haciendo una aproximación simplista del código de color se puede mencionar por ejemplo que el color rojo de tomate se debe al licopeno (carotenoide); las hortalizas amarillo-verdosas contienen luteína (carotenoide); los alimentos rojo-púrpura contienen antocianinas (polifenoles) que son antioxidantes potentes; los alimentos de color naranja contienen β -caroteno (carotenoides); los alimentos amarillos contienen flavanonas (polifenoles); los alimentos verdes contienen glucosinolatos (muy presentes en verduras de la familia Brassicaceas); los alimentos blanco-verdosos contienen compuestos azufrados (característicos de las familias de las Liliáceas) (Tomás Barberán, 2003).

El término *compuestos polifenólicos* engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, unidas a estructuras aromáticas o alifáticas. De estos compuestos fenólicos, algunos no son polifenoles, sino monofenoles. Los polifenoles son los que se encuentran de forma general en todos alimentos de origen vegetal y presentan propiedades biológicas, de las cuales, la más conocida es la propiedad antioxidante (Özen, 2010; Romojaro *et al.*, 2013). Los compuestos fenólicos presentes en los los alimentos constituyen una fracción muy compleja de componentes, formada por un elevado número, de los cuales, algunos todavía no se han identificado.

Otro aspecto interesante de los compuestos fenólicos es que junto con los compuestos volátiles, como por ejemplo los monoterpenos, están relacionados con la calidad sensorial de las plantas y por tanto determinan la calidad organoléptica de los alimentos (Streit *et al.*, 2007). Estas propiedades organolépticas que proporcionan los compuestos fenolicos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades organolépticas atribuidas a los compuestos fenólicos (fuente: Creus, 2004)

Atributo	Compuesto polifenólico	Propiedad organoléptica
Color	Antocianidinas	Responsables de los tonos rojos y violáceos de muchas frutas, hortalizas y derivados como la apigenina responsables del color amarillento
Sabor	Flavanonas	Responsables de los sabores amargos de los cítricos (naringina del pomelo, neohesperidina de la naranja) o la oleuropeína en las aceitunas
Astringencia	Antocianidinas	Responsables de la astringencia del kaki por los taninos solubles, o de la astringencia del vino por los taninos condensados y los taninos hidrolizables
Aroma	Derivados fenólicos	Responsables del aroma de algunas plantas, como el eugenol, del clavo de olor o del plátano

Los polifenoles pueden agruparse en dos grandes grupos, dependiendo de su estructura química básica: flavonoides y no flavonoides (fenoles simples, ácidos hidroxycinnámicos, estilbenos, etc). Ambos grupos están ampliamente distribuidos entre todas las especies vegetales y sus compuestos pueden encontrarse en forma libre y unida, como por ejemplo algunos ácidos cinámicos en forma de glicósidos. El grupo más importante es el de los flavonoides que posee una mayor actividad antioxidante e incluyen más de 5000 compuestos de diferente naturaleza. Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingesta rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y de algunos tipos de cáncer (Birt *et al.*, 2001; Vargas y Petricevich, 2019) y al mismo tiempo, puede tener un efecto beneficioso en muchas enfermedades relacionadas con el envejecimiento.

De forma general, la mayoría de los compuestos fenólicos son hidrosolubles y su grado de actividad antioxidante se relaciona con el número de grupos de hidroxilo. Las variaciones en sus patrones estructurales dan como resultado diferentes clases de polifenoles en los alimentos que se pueden agrupar en no flavonoides (Tabla 3) y flavonoides (Tabla 4).

Dentro del grupo de polifenoles no flavonoides se puede mencionar los derivados del ácido hidroxycinnámico que son comunes en las familias Asteraceas, Solanaceas, Rubiaceas y Brassicaceas. Las cumarinas e hidroxycumarinas, por ejemplo, abundan en la familia Apiacea (Umbeliferae). La familia botánica de Fabaceas se destaca por tener casi en exclusivo el compuesto denominado isoflavona del grupo de flavonoides y su concentración más alta corresponde a la soja (*Glycine max*), aunque también abunda en algunos cultivares de trébol y alfalfa. Entre los ejemplos correspondientes a flavonas pueden mencionarse apigenina y luteolina presentes en apio, perejil y otras plantas herbáceas (Viña, 2013).

Tabla 3. Clasificación de los polifenoles, no flavonoides, y ejemplos de ellos (adaptado desde fuente: [Quiñones et al., 2012](#))

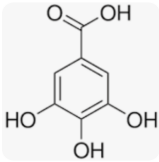
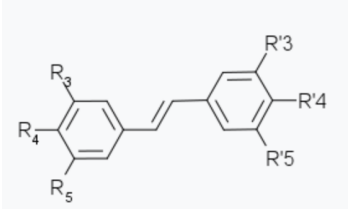
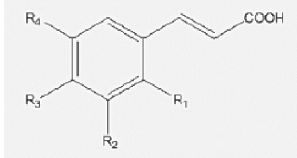
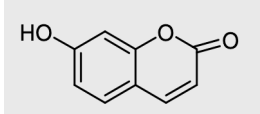
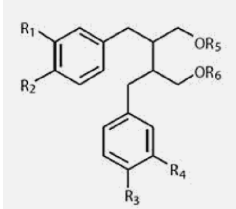
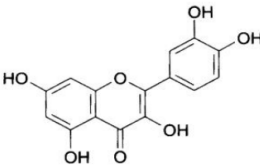
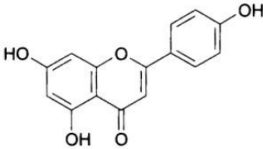
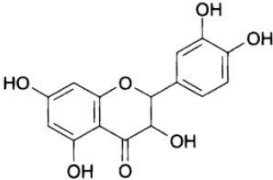
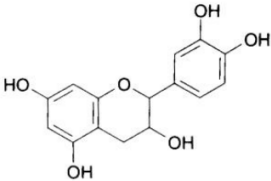
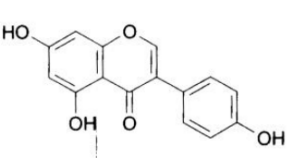
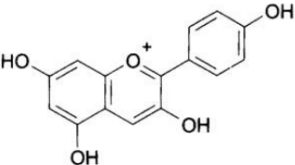
Estructura química	Fórmula	Ejemplo de compuesto
Fenoles simples	$C_6-(OH)_n$ 	Catecol, resorcinol, hidroquinona Taninos hidrosolubles: • Ácido gálico
Derivados del ácido hidroxibezóico		Estibenos: • Trans-resveratrol: $R_3=OH, R_4=H, R_5=OH, R'3=H, R'4=OH, R'5=H$ • Astringina: $R_3=Gluc, R_4=H, R_5=OH, R'3=OH, R'4=OH, R'5=H$
Derivados del ácido hidroxicinámico		Alcoholes fenólicos: Tirosol • Ácido p-cumárico: $R_1=H, R_2=H, R_3=OH, R_4=H$ • Ácido ferúlico: $R_1=H, R_2=OCH_3, R_3=OH, R_4=H$
Cumarinas		Umbeliferona
Lignanós		Enterodiol: $R_1=R_4=OH, R_2=R_3=H, R_5=R_6=H$

Tabla 4. Clasificación de los polifenoles, flavonoides, y ejemplos de ellos (adaptado desde fuente: Quiñones *et al.*, 2012)

Flavonoles		Quercetina
Flavonas		Apigenina
Flavononas		Taxifolina
Flavanoles		Catequina
Isoflavonas		Ginisteina
Antocianidinas		Pelargonidina

Otra de las familias de compuestos químicos con actividades biológicas interesantes y la que se le ha prestado poco interés son las clorofilas. Además de su papel esencial durante la fotosíntesis, las clorofilas son muy valiosas en los alimentos ya que el color verde es un atributo muy valorado por los consumidores. En la naturaleza existe más de 100 clorofilas diferentes, pero estrictamente hablando hay cinco clorofilas que se distinguen estructuralmente entre ellas que son clorofilas *a*, *b*, *c*, *d* y *f*. Las dos clorofilas más comunes por su presencia en las plantas

alimenticias son las clorofilas *a* y *b* (Zepka *et al.*, 2019). Aunque el color natural de la clorofila es el principal atributo valorable, hay que considerar también la implicación de estos compuestos bioactivos en la promoción de efectos saludables. En los últimos años las clorofilas están llamando la atención por sus potenciales beneficios para la salud (Rodríguez-Amaya, 2016). Entre las actividades biológicas fundamentales de mayor interés es la prevención de cáncer, capacidad antioxidante, antimutagénicas y detoxicantes (Zepka *et al.*, 2019). Las plantas tienen capacidad de regular los niveles de clorofila *a* (chl *a*) y clorofila *b* (chl *b*) en su aparato fotosintético, para adaptarse a diferentes condiciones de luz a través de la reacción enzimática de reducción de chl *b* en chl *a* (Pérez-Gálvez y Roca, 2017). Muy recientemente, se han identificado los compuestos generados por la actividad catabólica enzimática sobre el complejo clorofilo-proteico que también poseen las propiedades bioactivas, sobre todo en el epitelio intestinal, y se denominan con un nombre genérico como filobilinas. Como indica el estudio de Pérez-Gálvez y Roca (2017), las filobilinas tienen una mala nomenclatura funcional, ya que el compuesto recibe su nombre dependiendo de la fuente vegetal, por lo que un mismo compuesto en diferentes especies vegetales posee diferentes nombres. En vista de lo expuesto, las clorofilas y sobre todo las filobilinas pueden convertirse en un grupo consistente de nuevos compuestos bioactivos para las investigaciones a realizar con las plantas silvestres infravaloradas entre otras.

Otro grupo de las sustancias fitoquímicas, diferente a los polifenoles, son los compuestos volátiles que tienen un interés especial por sus propiedades organolépticas como el sabor y olor. Los volátiles de las plantas generalmente se producen como parte de una estrategia de defensa, además de indicar el estado fisiológico de las plantas. Las plantas poseen mecanismos de control que regulan cuándo, dónde y qué sustancias producir. Las cantidades de emisión de volátiles de plantas está influenciada por una gran cantidad de factores que pueden clasificarse en dos grupos principales: 1) genéticos y bioquímicos; 2) externos, subdivididos a su vez en abióticos y bióticos. La producción y emisión de compuestos volátiles es principalmente determinada por el primer grupo que también hacen que las emisiones sean altamente específicas y regidas por el desarrollo de la planta. Generalmente en los estadios tempranos cuando hay más emisión: en las flores a punto de ser polinizadas, en las hojas jóvenes y en los frutos inmaduros (Marín-Loaiza y Céspedes, 2007). Entre los factores abióticos se encuentran: temperatura, luz, disponibilidad del agua, humedad entre otros. Los factores bióticos incluyen las interacciones con microorganismos, otras plantas y con animales. Los volátiles de flores, hojas no dañadas y hojas atacadas por herbívoros a menudo exhiben patrones de emisión

distintos entre sí (Dudareva y Negre, 2005). Debido a tan extensa serie de factores, existe una amplia variabilidad cualitativa y cuantitativa, espacial y temporal de las emisiones volátiles. Se presentan como una mezcla compleja de compuestos de carácter lipofílico, de bajo peso molecular, con puntos de ebullición bajos y alta presión de vapor. Todas las plantas pueden emitir compuestos volátiles, pero el proceso muestra una notable variación genotípica y plasticidad fenotípica.

Aunque a veces se encuentran en bajas concentraciones, influyen decisivamente en la aceptación de los alimentos y en sus propiedades funcionales (Torija-Isasa, 2017). Las características sensoriales de cada vegetal, sobre todo cuando es en fresco, se deben al perfil aromático propio de cada planta. El sabor sutil de cada especie es el resultado de la combinación de una amplia gama de los compuestos volátiles liberados durante la masticación, incluidos los terpenos, ésteres y aldehídos entre otros (Reale *et al.*, 2021). Cada compuesto volátil se caracteriza por tener un umbral propio de olor, así que incluso, si la composición cualitativa es similar, el aroma y el sabor pueden variar cuando las proporciones relativas son diferentes. Tanto es así que el estudio realizado por Hatanaka *et al.* (1992) mostró que los valores umbrales de hexenoles fueron 100-1000 veces más altos que los de los correspondientes hexenales y que en función de la proporción entre estos dos compuestos cambian el olor afrutado, fresco y dulcificado a los perfiles de olor aceitoso-grasientos y herbales. En otra investigación (Hatanaka, 1996) el autor explica sobre las rutas biocinéticas de los compuestos volátiles en las que están involucradas las cuatro principales enzimas, cuyas actividades cambian a lo largo de la temporada de crecimiento y el desarrollo de plantas, ya que parecen estar estrechamente relacionadas con la temperatura ambiente, la radiación solar y las condiciones de la intensidad de la luz. Es por ello que los sabores y olores que aportan las plantas silvestres en estado fresco varían en función de su temporalidad, siendo usualmente el olor un poderoso determinante de la selección de alimentos y una razón de peso para elegir un alimento (Tepper, 2008; Morales Valverde *et al.*, 2011).

El valor nutritivo, la capacidad antioxidante, la calidad organoléptica, entre otras características son factores de relevancia en cualquier alimento. Las propiedades sensoriales apetecibles, combinadas adecuadamente con las texturas, constituyen parte de la cultura culinaria y hacen de los platos humildes un placer de la comida, generando una profunda sensación de satisfacción y al mismo tiempo contribuyendo al bienestar. En la construcción de las propiedades sensoriales interfieren los principios aromáticos, a los que pertenecen

componentes volátiles, junto con los compuestos fenólicos y otros compuestos químicos como la acidez presente, el valor del pH, etc.

Como han corroborado diversas investigaciones, la prevención de las enfermedades crónico-degenerativas, cardiovasculares, así como la obesidad y diabetes entre otras, pueden ser prevenidas con un consumo elevado de las verduras, frutas y hortalizas (Guarrera y Savo, 2013; Rodríguez *et al.*, 2015; Murthy y Paek, 2020; Ros y Gonzalez, 2020). Por ejemplo, el β -cariofileno (sesquiterpeno lipofílico) aislado del tomate, ha demostrado una potente actividad antiinflamatoria. Otro sesquiterpeno, zerumbone, aislado de la planta de jengibre amargo (*Zingiber zerumbet*), exhibe una actividad anticancerígena y quimioprotectora (Murthy y Paek, 2020). Hoy en día, crece el interés por el grupo de compuestos volátiles denominados glucosinolatos y sus productos de hidrólisis que manifiestan actividades antimutagénicas y quimioprotectoras. Estos compuestos principalmente se encuentran en las especies de la familia botánica Brassicacea a la que pertenecen coles de Bruselas, repollo, brócoli y coliflor, entre otras. En general, muchos compuestos volátiles aislados desde las plantas evidencian otras actividades como bactericidas, antivirales, fungicidas y antiparasitarias, entre otras. De esta manera, las diversas familias fitoquímicas representan una clase de no-nutrientes que ejercen sus efectos beneficiosos para la salud, en forma directa o en forma indirecta, contribuyendo a los efectos saludables y al bienestar general (Gasaly *et al.*, 2020).

La valoración cualitativa y cuantitativa de cualquier compuesto químico permite determinar sus propiedades físicas y químicas, aportando de esta manera la caracterización valiosa de sus propiedades nutritivas, funcionales y sensoriales, de consumo habitual. A pesar de que muchos estudios constatan el alto valor funcional de las plantas silvestres, la mayoría de ellas son subutilizadas, infravaloradas e incluso consideradas como malas hierbas (Tardío, 2010; Luczaj *et al.*, 2012; Petropoulos *et al.*, 2019). En esta situación resulta muy útil identificar y caracterizar las familias químicas de interés, en las especies silvestres del hábito alimentario tradicional, revalorizando de esta forma los recursos de la biodiversidad local. Prestar atención a estos recursos infravalorados para mantenerlos y rescatarlos como fuente de suministro alternativo, de alimentos de proximidad y de agrobiodiversidad, podría fomentar la utilización de las especies que son nutricionalmente importantes. Hoy en día está bien establecido que una mayor diversidad dietética aumenta la probabilidad de consumir las cantidades adecuadas de todos los componentes alimentarios esenciales para la salud (Powell *et al.*, 2015).

En términos generales, el consumo de las hortalizas frescas de hoja verde junto con los vegetales y las frutas frescas cubre un elevado porcentaje de los requerimientos diarios de

algunos minerales y vitaminas. La absorción de estos componentes depende de otros constituyentes presentes en las plantas que pueden facilitar y/o impedir su asimilación adecuada. De allí viene la importancia de diversificar la dieta en mayor grado posible para poder obtener así todos los nutrientes necesarios para el organismo en cantidades suficientes y aprovechar sus beneficios funcionales (Morelli y Capurso, 2012). De esta forma la promoción del consumo de vegetales, especialmente en estado fresco es una estrategia nutricional de gran interés para reducir la incidencia de enfermedades crónicas a través de una dieta variada y saludable (Cámara Hurtado y Sánchez-Mata, 2011). Combinando un estilo de vida idóneo con la alimentación que aporta cantidades adecuadas de vitaminas y minerales, fibra, ácidos grasos de la familia omega (ω -3, ω -6, ω -9), antioxidantes y otros componentes, ayuda al equilibrio nutricional y proporciona un mayor bienestar (Ortega, 2006).

Las plantas infravaloradas podrían presentar oportunidades interesantes para la industria alimentaria por la presencia de los fitoquímicos con la actividad nutraceutica, así como por el gran potencial como fuente de colores, sabores, texturas, cualidades que componen la percepción organoleptica, por lo que podrían ser empleadas en innovaciones gastronómicas como comida creativa. Es por esto que debe potenciarse la investigación con el fin de proporcionar un mayor conocimiento sobre las propiedades nutricionales y sus compuestos bioactivos presentes, que en muchos de los casos tienen efectos desiguales sobre la salud humana (Rodríguez *et al.*, 2015). De esta manera, estudiar el potencial que las plantas silvestres pueden ayudar a la configuración en la diversificación de la dieta, al desarrollo local sostenible y al mismo tiempo, a la conservación de tradiciones gastronómicas que son herencia de cada región. Más aun, en muchas ocasiones el contenido de los compuestos fitoquímicos en plantas silvestres es superior al de las especies cultivadas, posiblemente como consecuencia del proceso de domesticación y por las técnicas agrícolas, que han propiciado un aumento de la producción, en detrimento de su calidad nutritiva (Leonti, 2012; Licata *et al.*, 2016), lo que posiciona a las especies silvestres como prometedoras en muchos aspectos.

1.3. PLANTAS SILVESTRES Y TRADICIONES GASTRONÓMICAS

Todas las especies silvestres, entre las que se encuentran las plantas comestibles, son un importante servicio ecosistémico, y su recolección es una actividad apreciada y recreacional. Una parte de esta recolección se realiza para el consumo doméstico o la comercialización informal. Más de 100 millones de ciudadanos de la UE consumen alimentos silvestres (Schulp *et al.*, 2014). En muchos países de UE la política ambiental se apoya en cuantificar y evaluar la distribución de los servicios ecosistémicos, aunque el aprovisionamiento de alimentos silvestres

carece de estas consideraciones. Por lo tanto, las plantas silvestres junto con beneficio nutricional, funcional y cultural, por formar parte de las tradiciones gastronómicas, podrían convertirse también en un estímulo del beneficio económico.

Como indica el estudio realizado por [Schulp *et al.* \(2014\)](#) sobre las plantas vasculares utilizadas en las cocinas tradicionales de 17 países de la UE, la mayoría de las especies comestibles fue reportada únicamente en uno o dos países. Mientras 81 especies se ha utilizado en más de cuatro países europeos, entre las especies más recolectadas se citan ajo de oso (*Allium ursinum*) pariente de ajo común, castaño de tierra (*Bunium bulbocastanum*), espárrago de río (*Humulus lupulus*) y cardo blanco (*Cirsium arvense*), entre otras. La presencia y frecuencia de las especies en los países sigue tendencias diferentes, por ejemplo, Austria, a pesar no mostrar datos sobre la recolección de las plantas silvestres comestibles, los datos disponibles muestran que “muchas” o “casi todas” las personas recolectan de forma silvestre ([Grasser *et al.*, 2012](#)). En Italia, se observa una diferencia sustancial entre el sur y el norte del país en referencia a la colección de las mismas especies vegetales ([Ghirardini *et al.*, 2007](#)). Los países donde la demanda de las plantas silvestres comestibles es alta y se realizan estudios sobre esta temática son Italia, España, en la península escandinava y Grecia, siendo en el sur de España menor que en el norte. Lo que a Francia se refiere, la demanda de las plantas silvestres comestibles va creciendo, probablemente por su gran importancia en la cocina. Para Alemania la demanda de plantas silvestres es menor, debido a la menor importancia en la cocina, así como en Bélgica o Países Bajos ([Schulp *et al.*, 2014](#)).

En España, los platos tradicionales siguen incluyendo ampliamente los vegetales silvestres de hoja verde en su elaboración en función de la temporalidad. Como ejemplos de estas plantas que proceden de diferentes familias botánicas, se cita el estudio de [Tardío *et al.* \(2006\)](#), conforme el cual el berro (*Rorripa nasturium aquaticum*) (Brassicaceae) es la especie cuyo consumo más se cita en bibliografía. Las hojas tiernas y los tallos de esta especie se consumen principalmente crudos en ensaladas y también a veces en guisos y sopas de manera similar en muchas regiones del mundo. A esta especie sigue el hinojo silvestre (*Foeniculum vulgare*) (Apiaceae) empleado en las comidas por su aporte organoléptico muy característico y sus propiedades digestivas. Se consume en crudo, se añade a las ensaladas, con legumbres, arroz y sopas.

Según [Pardo de Santayana *et al.* \(2018\)](#), otra especie muy consumida en España es la colleja (*Silene vulgaris*) (Caryophyllaceae) que se utiliza principalmente en tortillas o con huevos revueltos, y como guarnición para potaje, un plato muy típico. El uso gastronómico de

esta planta también ha sido reportado en otras zonas de cuenca Mediterránea (Luczaj *et al.*, 2012). Las hojas basales peladas de cardillo (*Scolymus hispanicus*) de la familia Asteraceae, tradicionalmente se hierven y luego se guisan ligeramente para servir como guarnición de cocido, un plato clásico y de los más antiguos de España, junto con el gazpacho y la sopa de ajo. En general, las plantas mencionadas todavía se recogen en la actualidad, no para un uso alimentario cotidiano, sino como una comida ocasional, elaborada siguiendo las recetas tradicionales. En caso de otras plantas silvestres comestibles su uso está mayoritariamente abandonado, otorgándoles el estatus de infravaloradas. Sin embargo, el empleo continuado de las plantas silvestres en los platos diarios tradicionales demuestra que, en parte de la España rural, todavía existe un arraigado patrimonio entorno a las plantas silvestres comestibles, aunque algunas de estas especies empiezan a ocupar el lugar de las plantas infravaloradas con el paso de tiempo, a pesar de ser un buen alimento complementario estacional, que permite variar la cocina y aportar beneficios para una dieta saludable.

Uno de los ejemplos de la vivencia de las tradiciones locales es la Comunidad Valenciana, donde los estudios etnobotánicos realizados por Obón de Castro *et al.* (2012) muestran más de 110 especies silvestres que todavía siguen utilizándose como alimento. Estas especies pertenecen a 31 familias botánicas, siendo las Asteraceae (39,55%), Brassicaceae (14,69%), Caryophyllaceae (6,78%) y Leguminosas (6,78%), entre las más representativas. Las especies con mayor frecuencia de uso en el territorio valenciano son 16, destacando el predominio de la familia Asteracea, por ser de las verduras más apreciadas. Algunas como achicoria común (*Chichorium intybus*) se consumen en ensaladas, otras en mezclas o hervidas como campanilla (*Silene vulgaris*) o acelga (*Beta vulgaris*). Otra especie muy valorada es la mejorana (*Origanum pauti*) que sólo se cultiva en las huertas iberolevántinas y mallorquinas.

Como exponen Aceituno-Mata *et al.* (2021) que evaluó las tendencias en las plantas silvestres comestibles utilizadas en la Sierra Norte de Madrid, el sabor de las plantas silvestres es más fuerte y, a veces, amargo que el de las verduras cultivadas, lo que se prefiere y se valora mucho. La memoria gustativa de las personas que han comido plantas silvestres alimenticias les motiva a mantenerlos en su dieta, aunque sólo se presente ocasionalmente y en pequeñas cantidades. Esta preferencia por los sabores silvestres se acentúa en el caso de plantas utilizadas como condimentos y bebidas, como las especies pertenecientes a las familias Lamiaceae y Asteraceae. Por otro lado, las verduras silvestres también se aprecian por sus connotaciones para la salud, situándose en el intermedio entre la alimentación y la medicina (Vallès *et al.*, 2017; Pieroni *et al.*, 2002). Además, el contexto evolutivo agrícola de las plantas silvestres

comestibles son de particular importancia porque están en la interfaz dinámica entre plantas nativas útiles, especies ruderales comestibles y los cultivos domesticados. Algunas de ellas, por ejemplo, *Brassica* spp., son parientes silvestres de importantes cultivos de hortalizas, proporcionando un reservorio crítico de diversidad genética (Bacchetta *et al.*, 2016). Es por este motivo que las plantas cultivadas, domesticadas o comerciales no pueden sustituir a las silvestres ya que tienen un enorme potencial para diversificar la productividad agrícola, mejorar los cultivos y aumentar la soberanía alimentaria, mejorando la nutrición, las dietas y el bienestar humano. No obstante, la recolección silvestre selectiva de los brotes más tiernos de la flora espontánea, considerada en gran parte hoy en día, como malas hierbas, va cayendo en desuso. El conocimiento tradicional sólo sobrevive en la memoria de la población envejecida y se encuentra en peligro de desaparecer. Y junto con este panorama, la agrobiodiversidad sigue amenazada ya que cada año se pierden valiosos recursos potenciales que son capaces de disminuir el riesgo de enfermedades y diversificar la ingesta diaria.

Por otro lado, los avances e innovaciones en gastronomía empiezan a estimular el uso y el cultivo de las plantas silvestres ya que estas plantas tienen un gran potencial como fuentes de sabores y colores insólitos, además de contribuir en diversificación de las dietas. Las nuevas tendencias gastronómicas, cocinas experimentales y de fusión, como iniciativas empresariales, están aprovechando las plantas silvestres comestibles convirtiéndolas en delicatessen locales y marcadores de identidad cultural. El aroma inconfundible y el toque de sabor que cada hierba aporta a un plato contribuye a la condición de “único” que todo cocinero pretende para sus creaciones. Paradójicamente el uso de plantas silvestres alimenticias para esta diversificación no depende tanto de la posición geográfica o de la variedad de la flora, sino del acceso a los insumos y del conocimiento y sobre todo de la creatividad de los profesionales de la cocina.

En actualidad, las nuevas modas culinarias se encuentran muy condicionadas por los impactos mediáticos, y por los estereotipos de salud. Recientemente también se ha promovido el uso de las plantas comestibles silvestres por los restaurantes de vanguardia, como es el ejemplo del restaurante NOMA en Copenhague, cuya cocina es en gran parte, a base de productos silvestres locales que quiere expresar el “sentido del lugar”. En Italia los destacados chefs utilizan las flores comestibles habitualmente en sus creaciones culinarias (de Cortes Sánchez-Mata y Tardío, 2016). Muchos otros restaurantes europeos importantes se apuntan a esta tendencia en sus cocinas y España no es excepción: los menús del Hotel Alfonso VIII (Palencia) ofrecen platos recreados con las especies silvestres como ortiga mayor (*Urtica dioica*) o regajo (*Montia fontana*) entre otras (Luczaj *et al.*, 2012).

Como oferta al consumidor las plantas silvestres a menudo se venden en la zona mediterránea, con mayor frecuencia en Italia, Grecia, Francia y Croacia (di Tizio *et al.*, 2012) y ocasionalmente también en España (Tardío, 2010). Así, la reaparición de las plantas silvestres comestibles crece en los puestos de alimentos saludables especializados, y también en los mercados de verduras ordinarios, adquiriendo una creciente aceptación. Las actividades de difusión y comunicación adecuadas pueden aumentar la conciencia de los consumidores sobre las plantas comestibles infravaloradas y su uso, con el fin de potenciar su consumo como alimento saludable. De esta manera a través de las hierbas silvestres se puede hacer un lazo con el pasado y acercar al ser humano a sus ancestros y a la naturaleza. Por otro lado, redescubrir el conocimiento de las propiedades nutricionales y saborizantes que se encuentran en tallos, hojas, raíces, flores y frutos, todo aquello que forma parte de la alimentación permitirá resurgir a las plantas silvestres infravaloradas, evitará la pérdida de un importante patrimonio agrícola, así como contribuirá al desarrollo local sostenible y a la conservación de las tradiciones gastronómicas.

1.4. APROXIMACIONES ANALÍTICAS PARA EL ESTUDIO DE LAS PLANTAS SILVESTRES

Las determinaciones con aproximaciones analíticas implican una estrategia metodológica que es útil para investigaciones agrícolas, actividades relacionadas con los efectos de conservación y procesado, mejora de la calidad, desarrollo de alimentos y, entre otros más, para el control de calidad (Greenfield y Southgate, 2006).

Las investigaciones desarrolladas en los últimos treinta años se han dirigido a estudiar predominantemente los aspectos farmacológicos de las plantas silvestres, es decir, las moléculas activas que desempeñan un papel relevante para la industria farmacéutica. Para ello se han aplicado técnicas analíticas y experimentos de aislamiento de los compuestos de interés con incidencia en diversas enfermedades. Actualmente, en el contexto de cambio climático, del desarrollo sostenible y principales determinantes de la carga mundial de morbilidad que se relacionan con la dieta, hay un creciente interés por los cambios en los hábitos alimenticios que pueden ser respetuosos con el medio ambiente y saludables.

Las plantas silvestres infravaloradas componen una parte importante de los recursos comestibles. Por lo tanto, generar información que respalda la calidad nutricional, funcional y sensorial puede promover alternativas a una agricultura más cercana y sostenible, así como

rescatar alimentos tradicionales olvidados y, al mismo tiempo, desarrollar nuevos cultivos en el marco de una valorización de la entidad territorial.

Los valores obtenidos de los análisis nutricionales aportan parte de la información que las personas consumidoras reclaman, cada vez más. Desde el punto de vista nutricional proporcionan una base para calcular las cantidades de nutrientes en las estadísticas de consumo, así como para definir la composición de las dietas. En consecuencia, una aproximación analítica inicial permite estimar los principales componentes que determinan el valor nutritivo y/o funcional de los alimentos e involucra el uso de amplio rango de diferentes técnicas y principios. La elección de los métodos utilizados en el análisis de alimentos, y en particular del análisis de alimentos vegetales de hoja verde, se basa en la idoneidad del método como factor primordial. Esto implica que el método de análisis seleccionado debe reflejar lo más fielmente posible el valor nutritivo del alimento.

Cada nutriente tiene su rol, su distribución en los alimentos, su importancia relativa en alimentos individuales en el suministro dietético total del nutriente. Para determinar la composición químico-física se puede dividir el proceso analítico en tres etapas:

- 1) Operaciones previas (muestreo, acondicionamiento, disolución, extracción, separación, reacciones analíticas, etc.)
- 2) Medición analítica mediante el uso instrumental.
- 3) Recopilación y tratamiento de datos.

Cualquier método que se adapte debe cumplir atributos cualitativos como aplicabilidad, exactitud, precisión, sensibilidad y detectabilidad (Greenfield y Southgate, 2006). El análisis proximal es un análisis de tipo preliminar en el cual no se pretende determinar en detalle la complicada composición de los alimentos de forma completa. Mas bien, se refiere a unas determinaciones convencionales afines, las cuales sirven para calificar su valor como una primera aproximación desde el punto de vista nutricional, o sea, su valor nutritivo potencial *in vitro* por medio de las aproximaciones analíticas.

Para determinar qué sustancias y en qué cantidades están presentes en los alimentos, se aplica el análisis fisicoquímico. Para la obtención de los datos fiables que permiten hallar la composición nutricional y caracterización de compuestos bioactivos y de perfiles estructurales específicos las aproximaciones analíticas para un estudio con plantas silvestres infravaloradas pueden estructurarse en varios bloques, estableciendo así una estrategia metodológica general que se resume en la Figura 6. Dentro de las pruebas cuantitativas, los análisis como son humedad y el contenido en cenizas, posteriormente se complementan con los análisis químicos

que permiten determinar proteína, fibra, grasa y carbohidratos, componentes considerados como macronutrientes que se encuentran comprendidos dentro del análisis proximal. El análisis proximal también se realiza para expresar el contenido de otros elementos químicos inorgánicos, como los minerales y orgánicos como las vitaminas.

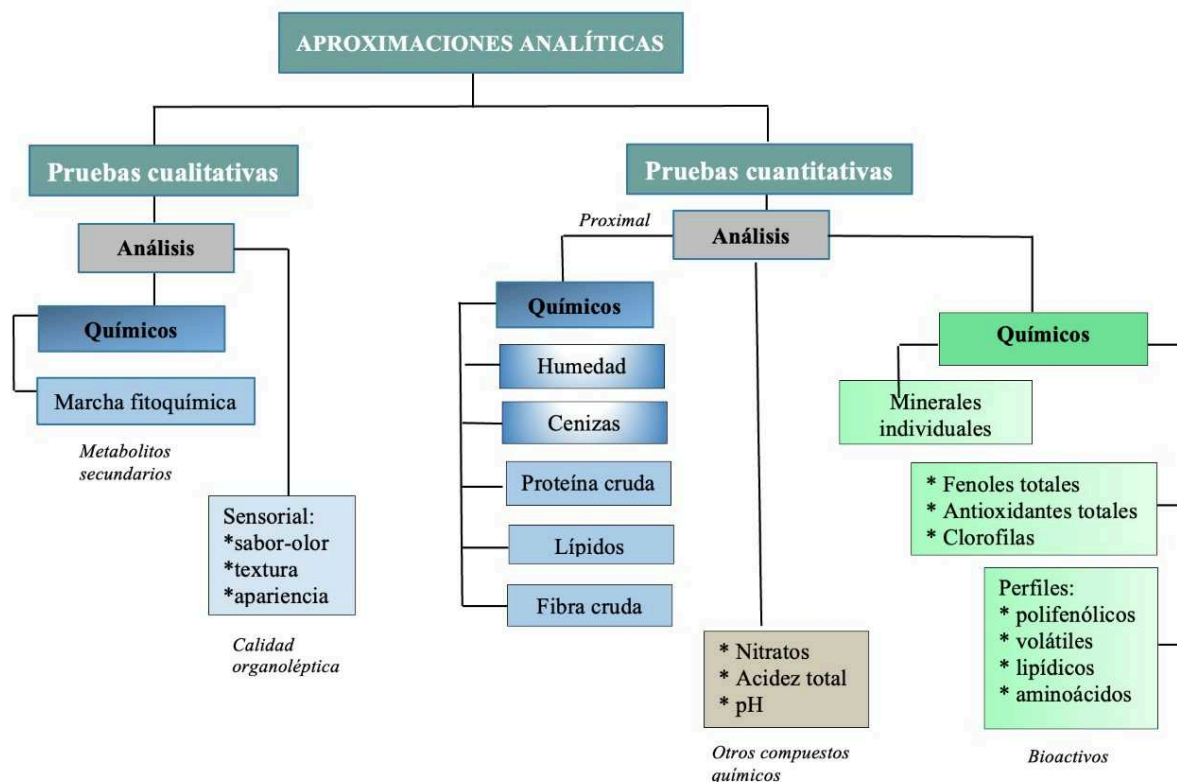


Figura 6. Esquema de la estrategia experimental en la aproximación analítica para el estudio de las plantas silvestres.

El interés en estos compuestos se debe a que son indispensables para el normal funcionamiento del cuerpo humano ya que desempeñan varias funciones en los huesos, procesos enzimáticos, hormonales, funciones osmóticas, entre otras. Su evaluación es importante ya que permite determinar la presencia de minerales esenciales, así como de minerales tóxicos, en el caso mineral. De forma general, la composición física y química de las plantas comestibles proporcionan una información cuantitativa sobre los parámetros que determinan el valor nutricional característico de cada especie. Otros componentes químicos del análisis composicional son componentes antinutricionales como los nitratos, o parámetros relacionados con aspectos del sabor como la acidez total o el pH. Los iones nitratos son compuestos naturales, presentes en el medio ambiente debido al ciclo de nitrógeno que pueden ser alterados por varias prácticas agrícolas. La cuantificación de nitratos en el material vegetal permite diagnosticar el estatus nutricional de las plantas, así como observar las prácticas

agrícolas que se emplean. Estos compuestos químicos son relativamente tóxicos, aunque su toxicidad incrementa por su conversión en nitritos influenciada por factores agronómicos y, a veces, por procesamientos o técnicas de cocción (Raigón *et al.*, 2006).

La analítica de los constituyentes bioactivos permite precisar la presencia de estos componentes no-nutritivos que poseen alguna actividad funcional en el organismo humano y cuya importancia aumenta cuando las especies vegetales se consumen en fresco, ya que al someterse a los tratamientos de cocción sus niveles cuantitativos se ven afectados (Sergio *et al.*, 2020). Para la cuantificación de polifenoles, antioxidantes y clorofilas totales la espectrofotometría en la región ultravioleta-visible es una herramienta útil y muy utilizada con los fines analíticos de estas familias químicas (Verza *et al.*, 2007). El método espectrofotométrico UV/VIS es el método de rutina para estos metabolitos en el uso experimental. Más específicamente, los antioxidantes totales se cuantifican por el ensayo colorimétrico en el que el cambio de color se produce por la reacción de protonación del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) con todos los antioxidantes presentes en el extracto vegetal, obtenido por la extracción de las plantas frescas (Figura 7a).

Los polifenoles totales en las matrices vegetales se determinan por el ensayo de Folin-Ciocalteu que da una buena estimación del contenido total de estos fitoquímicos. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene sales de molibdeno y tungsteno que reaccionan con cualquier tipo de fenol formando complejos fosfomolibdico-fosfotungstico. Por una reacción redox, la transferencia de electrones a pH básico (pH=10) transforma estos complejos en cromóforos de color azul intenso, siendo proporcional este color a la concentración de compuestos fenólicos presentes (Figura 7b). La coloración azul se puede determinar espectrofotométricamente a 760 nm (Schofield *et al.*, 2001; Cortez *et al.*, 2018).

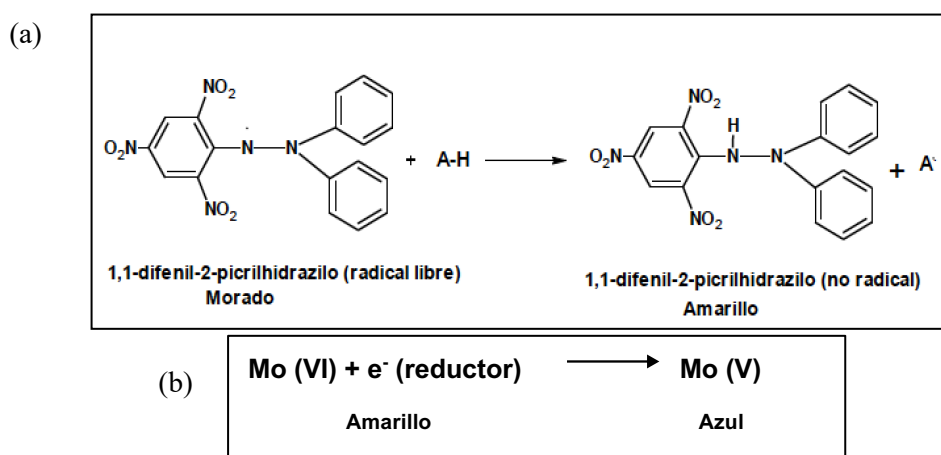


Figura 7. Proceso reactivo en que se basa la cuantificación de antioxidantes totales (a) y polifenoles totales (b).

Las clorofilas (chl) que son pigmentos vegetales, cuyo contenido cambia con la estación y la edad de la hoja, disponen de grupos cromóforos en sus estructuras químicas lo que permite su cuantificación mediante espectrofotometría de luz visible. Estructuralmente los dos tipos de clorofilas: chl *a* y chl *b* se determinan simultáneamente en un solo análisis. En la actualidad se han desarrollado métodos ópticos no destructivos, basados en la absorbancia y/o reflectancia de la luz por la hoja intacta, presentando el inconveniente que arrojan un valor que expresa el contenido relativo de clorofila, pero no el contenido absoluto de clorofila por unidad de área foliar. Se sabe que el contenido de clorofila de las hojas y la proporción de chl *a:b*, cambian como respuesta a los impulsores del cambio climático y global, como son la contaminación del aire, la sequía, estrés salino y deficiencia en hierro. El contenido de clorofila también se utiliza como indicador del estado de nitrógeno de las hojas y del estado nutricional de las plantas (Udeagha *et al.*, 2016). La extracción de las clorofilas de materiales vegetales requiere disolventes orgánicos que se difunden a través del tejido vegetal, aumentando la permeabilidad de las membranas del cloroplasto e interrumpiendo el complejo clorofila-proteína (Hosikian *et al.*, 2010). Los pigmentos fotosintéticos de las plantas se extraen usando acetona al 80%, de forma usual (Dunn *et al.*, 2004).

Para determinar los perfiles aromáticos, o sea, los compuestos volátiles emitidos por las plantas existen numerosas técnicas entre las cuales se encuentran las técnicas extractivas (con disolventes) y las técnicas verdes (sin disolventes). Todos los métodos para el análisis de volátiles de plantas intentan identificar el perfil más auténtico de las mezclas volátiles, que puede desempeñar la función de una huella dactilar para la calidad-autenticidad de las especies. Las estrategias de análisis para determinación de volátiles emitidos por plantas, por lo general, depende del problema biológico y de las partes del material vegetal (flores, tallos y hojas), así como de los equipos disponibles para su análisis que pueden ser simples portátiles y/o configuraciones más complejas como los equipos especializados con técnicas cromatográficas. Las estrategias de análisis de aromas se resumen en la Figura 8, indicando las partes aéreas de las plantas como fuentes de emisión de aromas (a) que en muchos de los casos son la respuesta al estrés abiótico y biótico entre otros factores ambientales, y los métodos analíticos a utilizar con los requerimientos de la calidad del analítico adecuada (b).

Los métodos de análisis aplicados en el laboratorio con éxito para la determinación de perfiles aromáticos son el análisis de espacio de cabeza estático (static headspace sampling) y de espacio de cabeza dinámico (dynamic headspace sampling). Una de las técnicas de aislamiento y concentración de los compuestos volátiles que se encuentran en las especies en

pequeñas cantidades (incluso a niveles de trazas), es la extracción en fase sólida (SPME, *solid phase microextraction*) con posterior análisis por cromatografía de gases (GC) que puede acoplarse a distintos detectores como FID (detector de ionización de llama) o MS (espectrómetro de masas) de doble o triple cuadrupolo o acoplados a analizadores de tiempo de vuelo (ToF-MS) que permiten escanear los analitos eluidos (Diez-Simon *et al.*, 2020).

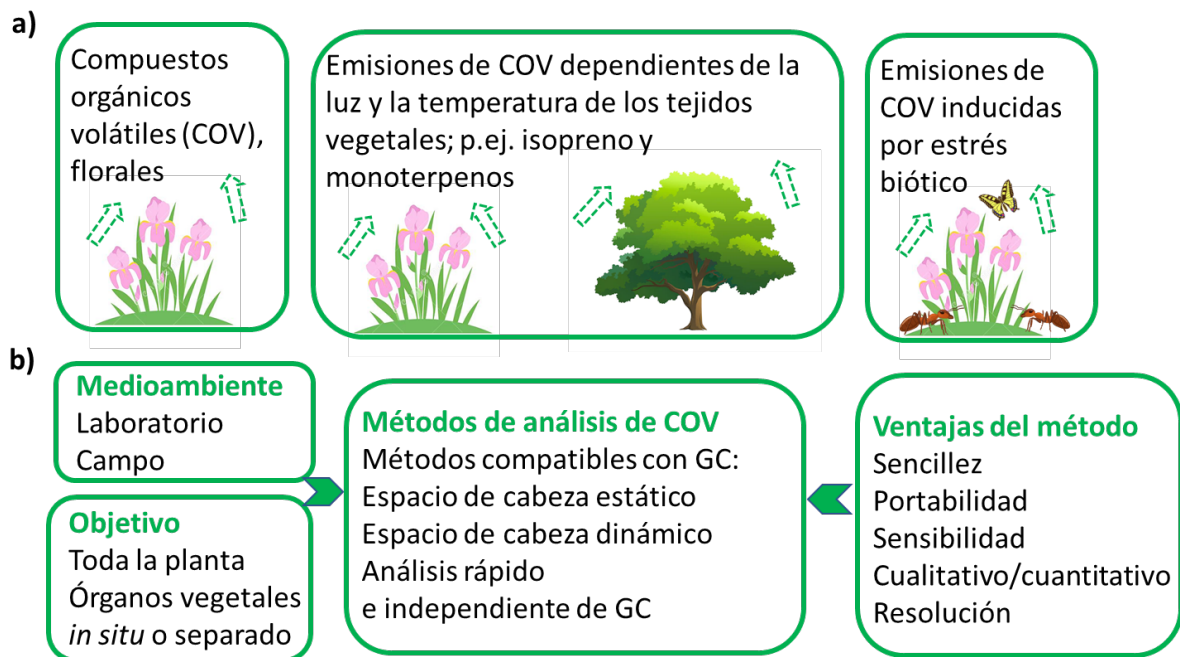


Figura 8. Estrategias de análisis para compuestos volátiles (fuente: Tholl *et al.*, 2006):

- (a) Las fuentes típicas de emisiones de compuestos volátiles;
- (b) Consideraciones para la planificación de experimentos de análisis de volátiles.

Ambas técnicas están consideradas como métodos no destructivos para recolectar volátiles, lo que permite obtener los perfiles volátiles emitidos por las plantas más auténticos y reales (Tholl *et al.*, 2006).

I.5. REFERENCIAS INTRODUCCIÓN

- Aceituno-Mata, L., Tardío, J., Pardo de Santayana, M. (2021).** The persistence of flavor: Past and present use of wild food plants in Sierra Norte de Madrid, Spain. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 271. doi.org/10.3389/fsufs.2020.610238
- Bacchetta, L., Visioli, F., Cappelli, G., Caruso, E., Martin, G., Nemeth, E., et al. (2016).** A manifesto for the valorization of wild edible plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 191, 180-187. doi.org/10.1016/j.jep.2016.05.061
- Bello, J. (2006).** La ciencia de los alimentos saludables: una panorámica actual. *Ars Pharmaceutica*, 47 (2): 137-171.
- Birt, D.F., Hendrich, S., Wang, W. (2001).** Dietary agents in cancer prevention. Flavonoids and isoflavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, 90:157-77. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(01\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(01)00137-1)
- Blanco-Salas, J., Gutierrez-Garcia, L., Labrador-Moreno, J., Ruiz-Tellez, T. (2019).** Wild Plants Potentially Used in Human Food in the Protected Area “Sierra Grande de Hornachos” of Extremadura (Spain). *Sustainability*, 11, 456. doi.org/10.3390/su11020456
- Buxó, R. (2006).** Paisajes culturales y reconstrucción histórica de la vegetación. *Ecosistemas*, 15(1), 1-6.
- Broegaard, R.B., Rasmussen, L.V., Dawson, N., Mertz, O., Vongvisouk, T., Grogan, K. (2017).** Wild food collection and nutrition under commercial agriculture expansion in agriculture-forest landscapes. *Forest Policy and Economics*, 84, 92-101. doi.org/10.1016/j.forpol.2016.12.012
- Caetano, C.M., Peña, C.R.D., Maigual J.J.L., Vasquez D.L.N., Nunes, D.C.; Pazdiora, B.R. (2015).** Mejoramiento participativo: herramienta para la conservación de cultivos subutilizados y olvidados. *Acta Agron.* 64, 307-327. [doi:10.15446/acag.v64n3sup.50550](https://doi.org/10.15446/acag.v64n3sup.50550)
- Cámara Hurtado, C., Sanchez-Mata, M.C. (2011).** Agrodiversidad y salud. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 95, 90-96.
- Cortez, J.D., Faicán, M.A., Pirovani, M.E., Piagentini, A.M. (2018).** Determinación de polifenoles en frutas con vitamina C incorporada: Metodología para mejorar la especificidad del ensayo de Folin-Ciocalteu. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).
- Chatzopoulou, E., Carocho, M., Di Gioia, F., Petropoulos, S.A. (2020).** The beneficial health effects of vegetables and wild edible greens: The case of the mediterranean diet and its sustainability. *Appl. Sci.* 10, 9144. [doi:10.3390/app10249144](https://doi.org/10.3390/app10249144)
- Cruz-Garcia, G.S., Price, L.L. (2012).** Weeds as important vegetables for farmers. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 81(4). [doi:10.5586/asbp.2012.047](https://doi.org/10.5586/asbp.2012.047)
- de Cortes Sánchez-Mata, M., Tardío, J. (Eds.) (2016).** *Mediterranean wild edible plants: ethnobotany and food composition tables*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. [doi:10.1007/978-1-4939-3329-7](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7)
- Creus, E.G. (2004).** Compuestos fenólicos. *Offarm*, 23(6), 80-84.
- Devasagayam, T.P.A., Tilak, J.C., Bloor, K.K., Sane, K.S., Ghaskadbi, S.S., Lele, R.D. (2004).** Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *Japi*, 52(794804), 4.
- Dias, J.M. (2009).** Dor: Passado, Presente e Futuro Pain: Past, Present and Future. *Revista de Anestesia Regional e Terapia da Dor | Journal of Regional Anaesthesia and Pain Treatment*, 2009. https://www.aped-dor.org/socios/material_bibliografico/Dor_PassadoPresente_e_futuro_RCAR_2009.pdf [acceso 10 febrero, 2022]

- Diez-Simon, C., Ammerlaan, B., van den Berg, M., van Duynhoven, J., Jacobs, D., Mumm, R., Hall, R.D. (2020).** Comparison of volatile trapping techniques for the comprehensive analysis of food flavourings by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1624, 461191. doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461191
- di Tizio, A., Łuczaj, Ł.J., Quave, C.L., Redžić, S., Pieroni, A. (2012).** Traditional food and herbal uses of wild plants in the ancient South-Slavic diaspora of Mundimitar/Montemitro (Southern Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(1), 1-10. doi.org/10.1186/1746-4269-8-21
- Dudareva, N., Negre, F. (2005).** Practical applications of research into the regulation of plant volatile emission. *Current opinion in plant biology*, 8(1), 113-118. doi.org/10.1016/j.pbi.2004.11.007
- Dunn, J.L., Turnbull, J.D., Robinson, S.A. (2004).** Comparison of solvent regimes for the extraction of photosynthetic pigments from leaves of higher plants. *Functional Plant Biology*, 31(2), 195-202. doi.org/10.1071/FP03162
- FAO (2011)** Consulta de expertos sobre indicadores de nutrición para la biodiversidad. 2. Consumo de alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/a62d6c56-5c98-56d3-871f-aea89e4caab7/> [acceso 26 febrero, 2022]
- FAO (2019)** The state of the world's biodiversity for food and agriculture. In: Bélanger J, Pilling D (eds) FAO commission on genetic resources for food and agriculture assessments, Rome. <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>. [acceso 13 Febrero, 2022]
- Fukalova Fukalova, T., García Martínez, M.D., Raigón, M.D. (2021).** Five undervalued edible species inherent to autumn-winter season: nutritional composition, bioactive constituents and volatiles profile. *Peer J* 9:e12488. doi.org/10.7717/peerj.12488
- Garzón, L. P. G. (2016).** Conocimiento tradicional sobre las plantas medicinales de yarumo (*Cecropia sciadophylla*), carambolo (*Averrhoa carambola*) y uña de gato (*Uncaria tomentosa*) en el resguardo indígena de Macedonia, Amazonas. *Revista luna azul*, (43), 386-414. [doi:10.17151/luaz.2016.43.17](https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.17)
- Gasaly, N., Riveros, K., Gotteland, M. (2020).** Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista chilena de nutrición*, 47(2), 317-327. doi.org/10.4067/S0717-75182020000200317
- Ghirardini, M.P., Carli, M., Del Vecchio, N., Rovati, A., Cova, O., Valigi, F., Agnetti, G., Macconi, M., Adamo, D., Traina, M. (2007).** The importance of a taste. A comparative study on wild food plant consumption in twenty-one local communities in Italy. *J Ethnobiol Ethnomed* 3, 22. doi.org/10.1186/1746-4269-3-22
- Ghosh-Jerath, S., Kapoor, R., Singh, A., Downs, S., Goldberg, G., Fanzo, J. (2021).** Agroforestry diversity, indigenous food consumption and nutritional outcomes in Sauria Paharia tribal women of Jharkhand, India. *Maternal & child nutrition*, 17(1), e13052 doi.org/10.1111/mcn.13052
- González, I.T., Medina, F.X. (2012).** Retos y responsabilidades tras la declaración de la dieta Mediterránea como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad (UNESCO). En: La antropología de la alimentación en España. Perspectivas actuales. Chapter II. Publisher UOC (ed.) Cantarero, L. Barcelona, (Universitat Oberta de Catalunya). p 58.
- Grasser, S., Schunko, C., Vogl, C. R. (2012).** Gathering “tea”–from necessity to connectedness with nature. Local knowledge about wild plant gathering in the Biosphere Reserve Grosses Walsertal (Austria). *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 8(1), 1-24. doi.org/10.1186/1746-4269-8-31
- Greenfield, H., Southgate, D.A.T. (2006).** Datos de composición de alimentos: obtención, gestión y utilización. FAO, ed. 2º. <https://www.fao.org/3/y4705s/y4705s.pdf> [acceso 20 abril, 2022]
- Grivetti, L.E., Ogle, B.M. (2000).** Value of traditional foods in meeting macro-and micronutrient needs: the wild plant connection. *Nutrition research reviews*, 13(1), 31-46. doi.org/10.1079/095442200108728990

- Guarrera, P.M., Savo, V. (2013).** Perceived health properties of wild and cultivated food plants in local and popular traditions of Italy: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 146(3), 659-680. doi:10.1016/j.jep.2013.01.036
- Güemes, J. (2019).** Estado de conservación de la Flora de la Región Mediterránea: realidad y retos de futuro. *Mediterráneo: realidad y retos de nuestro entorno natural*, 91. <http://www.rsehn.es/cont/publis/boletines/455.pdf> [acceso 12 enero, 2022]
- Harris, J., van Zonneveld, M., Achigan-Dako, E. G., Bajwa, B., Brouwer, I. D., Choudhury, D., ... & Schreinemachers, P. (2022).** Fruit and vegetable biodiversity for nutritionally diverse diets: Challenges, opportunities, and knowledge gaps. *Global Food Security*, 33, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100618>
- Hatanaka, A. (1996).** The fresh green odor emitted by plants. *Food Reviews International*, 12:303-350. doi.org/10.1080/87559129609541083
- Hatanaka, A., Kajiwara, T., Horino, H., Inokuchi, K. (1992).** Odor-Structure relationships in n-hexenols and n-hexenais. *Zeitschrift für Naturforschung C* 47:183-189. doi.org/10.1515/znc-1992-3-403
- Hosikian, A., Lim, S., Halim, R., Danquah, M.K. (2010).** Chlorophyll extraction from microalgae: a review on the process engineering aspects. *International Journal of Chemical Engineering*, a391632. doi.org/10.1155/2010/391632
- Heywood, V.H. (2011).** Ethnopharmacology, food production, nutrition and biodiversity conservation: towards a sustainable future for indigenous peoples. *Journal of ethnopharmacology*, 137(1), 1-15. doi.org/10.1016/j.jep.2011.05.027
- Jarvis, D.I., Brown, A.H., Cuong, P.H., Collado-Panduro, L., Latournerie-Moreno, L., Gyawali, S., et al. (2008).** A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(14), 5326-5331. doi.org/10.1073/pnas.0800607105
- Kobori, C.N., Rodriguez-Amaya, D.B. (2008).** Uncultivated Brazilian green leaves are richer sources of carotenoids than are commercially produced leafy vegetables. *Food and nutrition bulletin*, 29(4), 320-328. doi:10.1177/156482650802900408
- Leonti, M. (2012).** The co-evolutionary perspective of the food-medicine continuum and wild gathered and cultivated vegetables. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(7), 1295-1302. doi:10.1007/s10722-012-9894-7
- Licata, M., Tuttolomondo, T., Leto, C., Virga, G., Bonsangue, G., Cammalleri, I., et al. (2016).** A survey of wild plant species for food use in Sicily (Italy)—results of a 3-year study in four regional parks. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 12(1), 1-24. doi.org/10.1186/s13002-015-0074-7
- Luczaj, L., Pieroni, A. (2016).** Nutritional ethnobotany in Europe: From emergency foods to healthy folk cuisines and contemporary foraging trends. In *Mediterranean wild edible plants* (pp. 33-56). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_3
- Luczaj, L., Pieroni, A., Tardío, J., Pardo-de-Santayana, M., Sõukand, R., Svanberg, I., Kalle, R. (2012).** Wild food plant use in 21 st century Europe, the disappearance of old traditions and the search for new cuisines involving wild edibles. *Acta societatis botanicorum poloniae*, 81(4). doi:10.5586/asbp.2012.031
- Marín-Loaiza, J.C., Céspedes, C.L. (2007).** Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 327-351.
- Maroyi, A. (2013).** Use of weeds as traditional vegetables in Shurugwi District, Zimbabwe. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 9:60, 1-10. doi.org/10.1186/1746-4269-9-60

- Maxted, N., Kell, S.P. (2009).** Establishment of a Global Network for the In Situ Conservation of Crop Wild Relatives: Status and Needs. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome, Italy. 266 pp.
- Molina, M. (2014).** Inventario Español de los Conocimientos Tradicionales relativos a la Biodiversidad. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios_nacionales/ict_2018_tomoIweb_tcm30-448312.pdf
- Morales Valverde, R., Tardío, J., Pardo de Santayana, M., Molina, M., Aceituno-Mata, L. (2011).** Biodiversidad y Etnobotánica en España. *Memorias R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 2ª ép., 9, 157-207.
- Morelli, L., Capurso, L. (2012).** FAO/WHO guidelines on probiotics: 10 years later. *Journal of clinical gastroenterology*, 46, S1-S2. doi:10.1097/MCG.0b013e318269fdd5
- Murthy, H.N., Paek K.Y. (2020).** Health Benefits of Underutilized Vegetables and Legumes. In: Murthy N.H., Paek K.Y.(eds) *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*, 1-37. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-44578-2_1-1
- Nesbitt, M., McBurney, R.P., Broin, M., Beentje, H.J. (2010).** Linking biodiversity, food and nutrition: The importance of plant identification and nomenclature. *Journal of food composition and analysis*, 23(6), 486-498. doi.org/10.1016/j.jfca.2009.03.001
- Obón de Castro, C.O., Gutiérrez, M.L.L., Martínez-Francés, V., Núñez, D.R., Giner, D.C., Ruiz, S.R. (2012).** Cuina mediterrània de supervivència: la recol lecció d'aliments silvestres a Alacant. *Mètode: Revista de difusió de la investigació*, (72), 60-64.
- OMS (2021).** Enfermedades no transmisibles; datos y cifras.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
<https://www.who.int/es/news/item/07-12-2021-who-accelerates-work-on-nutrition-targets-with-new-commitments> [acceso 18 febrero, 2022]
- Ortega, R.M. (2006).** Importance of functional foods in the Mediterranean diet. *Public Health Nutrition* 9(8A), 1136-1140. doi:10.1017/S1368980007668530
- Özen, T. (2010).** Antioxidant activity of wild edible plants in the Black Sea Region of Turkey. *Grasas y aceites*, 61(1), 86-94. doi:10.3989/gya.075509
- Pardo de Santayana, M., Tardío, J., Morales, R. (2005).** The gathering and consumption of wild edible plants in the Campoo (Cantabria, Spain). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(7), 529-542. doi:10.1080/09637480500490731
- Pardo de Santayana, M., Morales, R., Tardío J., Aceituno-Mata L., Molina M. (2018).** INVENTARIO ESPAÑOL DE LOS CONOCIMIENTOS TRADICIONALES RELATIVOS A LA BIODIVERSIDAD. FASE II (2). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 425 pp. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/pbl_ict_tcm30-164090.pdf
- Pereira, A.G., Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Jimenez-Lopez, C., Lourenço-Lopes, C., Carpena, M., ... & Simal-Gandara, J. (2020).** Culinary and nutritional value of edible wild plants from northern Spain rich in phenolic compounds with potential health benefits. *Food & Function*, 11(10), 8493-851. <https://doi.org/10.1039/D0FO02147D>
- Pérez-Gálvez, A., Roca, M. (2017).** Phyllobilins: A new group of bioactive compounds. *Studies in natural products chemistry*, 52, 159-191. doi:10.1016/B978-0-444-63931-8.00004-7
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Tzortzakis, N., Sokovic, M., Ciric, A., Barros, L., Ferreira, I. C. (2019).** Bioactive compounds content and antimicrobial activities of wild edible Asteraceae species of the Mediterranean flora under commercial cultivation conditions. *Food Research International*, 119, 859-868. doi:10.1016/j.foodres.2018.10.069

- Pieroni, A., Nebel, S., Quave, C., Münz, H., Heinrich, M. (2002). Ethnopharmacology of liakra: traditional weedy vegetables of the Arbëreshë of the Vulture area in southern Italy. *Journal of ethnopharmacology*, 81(2), 165-185. doi:10.1016/S0378-8741(02)00052-1
- Pinedo-Espinoza, J.M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y.O. et al. (2020). Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Wild Edible Flowers Consumed in Semiarid Regions of Mexico. *Plant Foods Hum Nutr* 75, 413–419. doi:10.1007/s11130-020-00822-2
- Powell, B., Thilsted, S.H., Ickowitz, A., Termote, C., Sunderland, T., Herforth, A. (2015). Improving diets with wild and cultivated biodiversity from across the landscape. *Food security*, 7(3), 535-554. doi:10.1007/s12571-015-0466-5
- Psaltopoulou, T., Naska, A., Orfanos, P., Trichopoulos, D., Mountokalakis, T., Trichopoulou, A. (2004). Olive oil, the Mediterranean diet, and arterial blood pressure: the Greek European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC) study. *Am J Clin Nutr* 80 (4):1012–1018 doi:10.1093/ajcn/81.5.1181
- Quiñones, M., Miguel, M., Alexandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 27(1), 76-89.
- Rahman, T., Hosen, I., Islam, M.T., Shekhar, H.U. (2012). Oxidative stress and human health. doi:10.4236/abb.2012.327123
- Raigón, M.D., García-Martínez, M.D., Guerrero, C., Esteve, P. (2006). Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. In *VII Congreso SEAE Zaragoza* (Vol. 157, pp. 1-11), 18-23 de Septiembre.
- Reale, S., Di Cecco, V., Di Donato, F., Di Martino, L., Manzi, A., Di Santo, M., D'Archivio, A.A. (2021). Characterization of the Volatile Profile of Cultivated and Wild-Type Italian Celery (*Apium graveolens* L.) varieties by HS-SPME/GC-MS. *Appl Sci*, 11, 5855. doi: 10.3390/app11135855
- Rivera, D., Obon, C., Heinrich, M., Inocencio, C., Verde, A., Fajardo, J. (2006). Gathered Mediterranean food plants—ethnobotanical investigations and historical development. *Local Mediterranean food plants and nutraceuticals*, 59, 18-74. doi:10.1159/000095207
- Rodríguez, L.G.G, Perea, J.M., Anta, R.M.O. (2015). Los alimentos funcionales en el contexto de la dieta mediterránea. *Mediterráneo económico*, 27:139-160.
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20-26. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004
- Romojaro, A., Botella, M.Á., Obón, C., Pretel, M.T. (2013). Nutritional and antioxidant properties of wild edible plants and their use as potential ingredients in the modern diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(8), 944-952. doi:10.3109/09637486.2013.821695
- Ros, R.Z, Gonzalez, C.A. (2020). El impacto de la dieta en la salud: avances recientes en epidemiología nutricional. *Métode: Revista de difusión de la Investigación*, 3(106):40-47.
- Rowland, D., Ickowitz, A., Powell, B., Nasi, R., Sunderland, T. (2017). Forest foods and healthy diets: Quantifying the contributions. *Environmental Conservation* 44:102–114. doi:10.1017/S0376892916000151.
- Sabbadini, S., Capocasa, F., Battino, M., Mazzoni, L., Mezzetti, B. (2021). Improved nutritional quality in fruit tree species through traditional and biotechnological approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 125-138. doi:10.1016/j.tifs.2021.01.083
- Sánchez-Mata, M.C., Cabrera Loera, R.D., Morales, P. et al. (2012). Wild vegetables of the Mediterranean area as valuable sources of bioactive compounds. *Genet Resour Crop Evol* 59, 431–443 doi:10.1007/s10722-011-9693-6

- Sergio, L., Boari, F., Pieralice, M., Linsalata, V., Cantore, V., Di Venere, D. (2020).** Bioactive phenolics and antioxidant capacity of some wild edible greens as affected by different cooking treatments. *Foods*, 9(9), 1320. doi:10.3390/foods9091320
- Shava, S., O'Donoghue, R., Krasny, M. E., Zazu, C. (2009).** Traditional food crops as a source of community resilience in Zimbabwe. *International Journal of African Renaissance Studies*, 4(1), 31-48. doi:10.1080/18186870903101982
- Schulp, C.J., Thuiller, W., Verburg, P.H. (2014).** Wild food in Europe: A synthesis of knowledge and data of terrestrial wild food as an ecosystem service. *Ecological Economics*, 105, 292-305. doi:10.1016/j.ecolecon.2014.06.018
- Schofield, P., Mbugua, D.M., Pell, A.N. (2001).** Analysis of condensed tannins: a review. *Animal feed science and technology*, 91(1-2), 21-40. doi:10.1016/S0377-8401(01)00228-0
- Stadlmayr, B., Charrondiere, U.R., Eisenwagen, S., Jamnadass, R., Kehlenbeck, K. (2013).** Nutrient composition of selected indigenous fruits from sub-Saharan Africa. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(11), 2627-2636. doi:10.1002/jsfa.6196
- Streit, N.M., Hecktheuer, L.H.R., do Canto, M.W., Mallmann, C.A., Streck, L., Parodi, T.V., Canterle, L.P. (2007).** Relation among taste-related compounds (phenolics and caffeine) and sensory profile of erva-mate (*Ilex paraguariensis*). *Food chemistry*, 102(3), 560-564. doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.028
- Spina, M., Cuccioloni, M., Sparapani, L., Acciarri, S., Eleuteri, A.M., Fioretti, E., Angeletti, M. (2008).** Comparative evaluation of flavonoid content in assessing quality of wild and cultivated vegetables for human consumption. *J. Sci. Food Agric.*, 88, 294-304. doi:10.1002/jsfa.3089
- Tardío, J., Pardo-de-Santayana, M., Morales, R. (2006).** Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. *Botanical journal of the Linnean society*, 152(1), 27-71. doi:10.1111/j.1095-8339.2006.00549.x
- Tardío, J. (2010).** Spring is coming: the gathering and consumption of wild vegetables in Spain. In: Pardo de Santayana M, Pieroni A, Puri R.K, editors. *Ethnobotany in the new Europe: people, health, and wild plant resources*. Berghahn books, Oxford-New York, pp 211-238.
- Tepper, B.J. (2008).** Nutritional implications of genetic taste variation: the role of PROP sensitivity and other taste phenotypes. *Annu Rev Nutr*, 28(1): 367-388. doi:10.1146/annurev.nutr.28.061807.155458
- Thondhlana, G., Muchapondwa, E. (2014).** Dependence on environmental resources and implications for household welfare: Evidence from the Kalahari drylands, South Africa. *Ecological Economics*, 108, 59-67. doi:10.1016/j.ecolecon.2014.10.003
- Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., Loreto, F., Röse, U.S., Schnitzler, J.P. (2006).** Practical approaches to plant volatile analysis. *The plant journal*, 45(4), 540-560. doi:10.1111/j.1365-313X.2005.02612.x
- Tomás Barberán, F.A. (2003).** Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 10(2), 41-53 <https://digital.csic.es/bitstream/10261/18042/3/lecturaPDF.pdf> [acceso 14 marzo, 2022]
- Torija-Isasa, E. (2017).** De los regímenes de salud de la edad media a los alimentos funcionales de la actualidad, un salto en el tiempo. *Academia de Farmacia, Zaragoza*. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza. Cometa, S.A. Zaragoza. 66 pp.
- Torija-Isasa, E.; Matallana-González, M. (2016).** A Historical Perspective of Wild Plant Foods in the Mediterranean Area. In *Mediterranean Wild Edible Plants*; Sánchez-Mata, M., Tardío, J., Eds.; Springer: New York, NY, USA. doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7

- Udeagha, A.U., Shomkegh, S.A., Daniel, K.S. (2016).** An Assesment of Leaf Chlorophyll Concentration of Afforestation Tree Species in South-Eastern, Nigeria. *Journal of Forest and Environmental Science*, 32(2), 205-211. [doi:10.7747/JFES.2016.32.2.205](https://doi.org/10.7747/JFES.2016.32.2.205)
- UNESCO. (2017).** The Mediterranean diet. Inscribed in 2010 on the Representative. List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity 2010. Recuperado de <http://www.unesco.org/culture/ich/RL/00884>. [acceso 12 febrero, 2022]
- Vallès, J., D'Ambrosio, U., Gras, A., Parada, M., Rigat, M., Serrasolses, G., Garnatje, T. (2017).** Medicinal and food plants in ethnobotany and ethnopharmacology: Folk functional foods in Catalonia (Iberian Peninsula). In: Recent Advances in Pharmaceutical Sciences VII, eds D. Muñoz-Torrero, M. Riu, and C. Feliu (Kerala: Research Signpost), 1–17
- Valussi, M. (2012).** Functional foods with digestion-enhancing properties. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(sup1), 82-89. [doi: 10.3109/09637486.2011.627841](https://doi.org/10.3109/09637486.2011.627841)
- Vargas, R.A., Petricevich, V.L. (2019).** Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Inventio. La génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 34: 33-38 [doi:10.30973/inventio/2018.14.34/4](https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/4)
- Verza, S.G., Kreinecker, M.T., Reis, V., Henriques, A.T., Ortega, G.G. (2007).** Avaliação das variáveis analíticas do método de Folin-Ciocalteu para determinação do teor de taninos totais utilizando como modelo o extrato aquoso de folhas de *Psidium guajava* L. *Química Nova*, 30(4), 815-820.
- Viña, S.Z. (2013).** Compuestos fenólicos. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/112803> [acceso, 15 marzo, 2022]
- Vissiennon, C., Nieber, K., Kelber, O., Butterweck, V. (2012).** Route of administration determines the anxiolytic activity of the flavonols kaempferol, quercetin and myricetin—are they prodrugs?. *The Journal of nutritional biochemistry*, 23(7), 733-740. [doi:10.1016/j.jnutbio.2011.03.017](https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2011.03.017)
- Waldron, A., Miller, D., Redding, D., Mooers, A., Kuhn, T., Nibbelink, N., Roberts, T., Tobias, J., Gittleman, J. (2017).** Reductions in global biodiversity loss predicted from conservation spending. *Nature*, 551, 364-367. [doi:10.1038/nature24295](https://doi.org/10.1038/nature24295).
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A. et al. (2019).** Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492. [doi: 10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Zeng, Y., Maxwell, S., Runting, R.K., Venter, O., Watson, J.E., Carrasco, L.R. (2020).** Environmental destruction not avoided with the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 3(10), 795-798. doi.org/10.1038/s41893-020-0555-0
- Zepka, L.Q., Jacob-Lopes, E., Roca, M. (2019).** Catabolism and bioactive properties of chlorophylls. *Current Opinion in Food Science*, 26, 94-100. doi.org/10.1016/j.cofs.2019.04.004

II. OBJETIVOS

La alimentación equilibrada y un estilo de vida saludable son aliados para mantener una buena salud y prevenir las enfermedades no transmisibles. Incluir las plantas silvestres como una nueva alternativa al consumo de las hortalizas convencionales permite diversificar las dietas diarias y al mismo tiempo resguardar la identidad cultural y potenciar la gastronomía tradicional de cada región.

Las plantas, consumidas por sus hojas verdes, tienen un latente potencial nutricional y son una fuente de diferentes metabolitos secundarios entre los cuales se encuentran los compuestos bioactivos y volátiles que se caracterizan por tener propiedades funcionales en el organismo beneficiosas para la salud. Existe una enorme variedad de plantas silvestres que en algún momento fueron consumidas y en la actualidad están infravaloradas e incluso olvidadas. Aunque son especies comestibles y accesibles por su abundancia durante la temporada respectiva, su composición nutricional, la riqueza en los compuestos bioactivos, así como sus perfiles volátiles no han sido reforzados científicamente.

Ante esta situación, se ha propuesto la siguiente hipótesis: definir y seleccionar las siete especies silvestres infravaloradas por su relevancia tradicional-cultural-social, en el área del estudio, tratándose de especies que pueden ser una alternativa aceptable a las verduras convencionales y cuyos perfiles nutricionales, bioactivos y sensoriales son relevantes, para fomentar las dietas sostenibles que aportan múltiples beneficios para la salud, así como proyectarse como nuevos cultivos potenciales. Adicionalmente, el uso de estas plantas que forman parte de la biodiversidad local podría garantizar la conservación de los ecosistemas y aportar las opciones para el desarrollo y la seguridad alimentaria que al mismo tiempo mejoraría la calidad de vida de los consumidores.

Frente a la escasez de los estudios científicos sobre las siete plantas silvestres infravaloradas seleccionadas que son abundantes en la costa valenciana, se proyecta potenciar la innovación agrobiológica y promocionar el uso más globalizado de estas especies. Por ello, el principal objetivo de esta Tesis Doctoral es:

La determinación del valor nutritivo, caracterización de compuestos bioactivos y perfil aromático de siete plantas silvestres presentes en zonas de la cuenca Mediterránea Valenciana, con el fin de potenciar su valor gastronómico tradicional y contribuir en la mejora de la oferta de productos de proximidad para la industria alimentaria, que se basa en sistemas de producción sostenibles y la conservación de biodiversidad local.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Definir y seleccionar las especies silvestres de interés en función de la relevancia cultural y arraigo en la cocina tradicional dependiendo de la abundancia y de la época del año: primavera-verano y otoño-invierno.
2. Analizar y evaluar el contenido nutricional (composición porcentual y elementos minerales) de las partes aéreas comestibles de cada una de las siete plantas seleccionadas, mediante análisis proximal.
3. Estudiar el contenido de algunos compuestos no-nutricionales, con actividad biológica, de las partes aéreas comestibles de cada una de las siete plantas seleccionadas.
4. Valoración y comparación de los contenidos nutricional, compuestos bioactivos y perfil polifenólico de las especies inherente al período de primavera en dos condiciones de crecimiento: cultivo ecológico y silvestre.
5. Caracterizar los perfiles volátiles de las partes aéreas comestibles de cada una de las siete plantas seleccionadas.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

III.1. IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES INFRavalORADAS

Según [FAO \(2017\)](#), los recursos fitogenéticos desempeñan un papel cada vez mayor en la seguridad alimentaria y la vida en el planeta. En ellos se sustenta la capacidad de la agricultura para responder a los cambios de tipo ambiental y socioeconómicos. Siendo uno de los componentes frágiles de la biodiversidad. Las plantas silvestres también contribuyen a la base biológica de la seguridad alimentaria mundial ya que sirven como reservorio genético importante para los recursos de la producción agrícola del futuro.

Las plantas silvestres, que en algún momento fueron sustento para nuestros antepasados, en la actualidad están relegadas a alimentos infravalorados, abandonados y de recolección temporal por sus conocedores. Pero en realidad son unos recursos de gran importancia y constituyen un reservorio de caracteres adaptativos que les permite hacer frente al cambio climático.

Por lo tanto, mayores investigaciones en etnobotánica, agronomía, química y nutrición de las especies silvestres podrían ayudar a promover su consumo masivo y de esta manera diversificar las dietas globalizadas, que responden más a los intereses comerciales, que a los nutricionales, acrecentando las enfermedades denominadas no transmisibles, asociadas con la alimentación. Además, a menudo, implican múltiples usos, incluyendo también los aspectos culturales, por no hablar de su posible potencial comercial.

El plan para la alimentación y la agricultura trazado por [FAO \(2017\)](#) plantea los enfoques posibles para el manejo de las plantas silvestres comestibles. Alineándose con el planteamiento de alta conservación y utilización sostenible de los recursos de proximidad, y teniendo en cuenta el valor del conocimiento tradicional, fue definida el área del estudio para recolectar las plantas silvestres comestibles infravaloradas accesibles en sus respectivas temporadas de crecimiento.

III.2. ÁREA DEL ESTUDIO

La Comunidad Valenciana, es la región situada en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica, conserva una buena representación de humedales litorales, aunque más del 50% de la antigua extensión de los humedales, se ha perdido a lo largo de las últimas décadas. No obstante, estos humedales todavía albergan poblaciones frágiles de varias especies. El trabajo de [Laguna y Gallego \(2016\)](#) recalca que las zonas del clima mediterráneo son consideradas especialmente sensibles a los efectos del cambio climático y a la actividad humana. Por fuertes alteraciones ambientales, el litoral valenciano en las últimas décadas ha experimentado la desaparición de ciertas comunidades de plantas, por diferentes causas como por ejemplo la concentración

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

urbana en la costa, carencia de grandes depósitos fluviales o el aumento de sustancias nocivas con el rocío marino, entre otras. Las plantas silvestres infravaloradas seleccionadas en este estudio conforman un patrimonio vegetal y pueden encontrarse bajo el riesgo que engloba el efecto negativo del cambio climático.

De origen latino la palabra mediterráneo significa en medio de la tierra, y este nombre geográfico proviene de la evidencia de un mar interior rodeado de diferentes tierras: el mar Mediterráneo (Sánchez-Mata y Morales, 2016). Una definición geográfica propuesta para área litoral es la de *franja de anchura variable, resultante del contacto interactivo entre la naturaleza y las actividades humanas que se desarrollan en ámbitos que comparten la existencia o la influencia del mar*. Por sus aspectos de peculiaridad este espacio registra un dinamismo inusual y funcionamiento complejo (interacciones y cambios biológicos, geomorfológicos y químicos en períodos extremadamente breves de tiempo), además de contener ecosistemas con las mayores tasas de productividad y diversidad biológica del planeta que son frágiles y vulnerables (Barragán, 2004).

Las Comunidades Autónomas españolas de la cuenca mediterránea son Andalucía, Murcia, Valencia, Cataluña y Baleares. En concreto, la región costera valenciana se conoce como litoral Levantino, con una extensión de 474 km², distribuidos de forma longitudinal, en el sudeste de España que se integra en el dominio de la Cordillera Ibérica.

Todo el litoral Mediterráneo español en la actualidad experimenta un nuevo escenario: el calentamiento climático con todas sus consecuencias implicadas y un fuerte impacto de la expansión urbanística e industrial (García *et al.*, 2015). Entre los aspectos hidrológicos y climáticos muy influyentes sobre los ecosistemas de estos litorales se puede mencionar entre otros la temperatura, precipitación, así como la salinidad y otros parámetros biológicos como la biodiversidad o los niveles de clorofila *a* como indicador de insolación recibida.

De forma general los humedales costeros del mediterráneo español son ecosistemas de una sensibilidad extrema, donde una mínima modificación de las condiciones hidrológicas puede causar variaciones muy significativas en la estructura del ecosistema.

Entre los humedales característicos del litoral se encuentran las zonas de marjal, que son zonas húmedas, generalmente próximas al mar, de gran riqueza tanto en fauna como en flora. Estas zonas húmedas a menudo son estaciones de paso en la migración de las aves entre el norte de Europa y África. Se trata de un terreno bajo y pantanoso, cubierto de vegetación prácticamente en su totalidad y el origen del agua puede ser diverso, destacando los aportes fluviales, subterráneos, por lluvias, o por intrusión marina, entre otros.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

El ámbito geográfico de este trabajo es la Marjal dels Moros (Sagunto, Valencia). Se trata de un humedal de gran valor ambiental, considerado actualmente como una reliquia de lo que fuera una extensa franja de marjal que se extendía desde El Puig hasta Moncofar (Sanchis y Ferri, 1997). Se ubica entre los términos municipales de Puzol y Sagunto, provincia de Valencia con una extensión de 620,46 ha de superficie de las cuales 300 ha son humedal costero, situado al sur de la desembocadura del río Palància (Figura 9A).

La línea de costa viene determinada por una gran falla de dirección SW-NE, que deja un escalón escarpado entre las últimas estribaciones de la sierra Calderona y el llano litoral (Sanchis y Ferri, 1997). El paisaje de la Marjal dels Moros ha evolucionado con el paso de los años, ya que hace unos 100000 años esta área era parte del mar Mediterraneo. En aquella época, el río Palancia comenzó a aportar gran cantidad de sedimentos que se dispersaron paralelos a la costa formando un escudo litoral. Este fenómeno aisló una laguna de agua salobre, que con el paso del tiempo y los aportes de sedimentos por parte del río, generaron el cambio en las características de la laguna (Aranegui Gascó *et al.*, 2005).

La Marjal dels Moros fue declarada zona Húmeda Catalogada, por el artículo 31 de la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos. En su superficie se encuentra tipificado un Lugar de Interés Comunitario (LIC) y una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), lo que provocó su inclusión, el 31 de octubre del 1995, en la Red Natura 2000. En el año 2015, por el Decreto 127/2015, de 31 de julio, del Consell, se declaró zona Especial de Conservación (ZEC) y se aprobaron las normas de gestión de este espacio.

Otras características comunes de estos humedales costeros son una topografía muy plana y su cercanía al nivel freático (Figura 9B). La superficie de la Marjal dels Moros muestra una ocupación de cañares, prados y espejos de agua intermitentes. Forma parte de un conjunto de estanques y marjales de mayores dimensiones, que desde dicho lugar se extendía hasta el río Túria.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

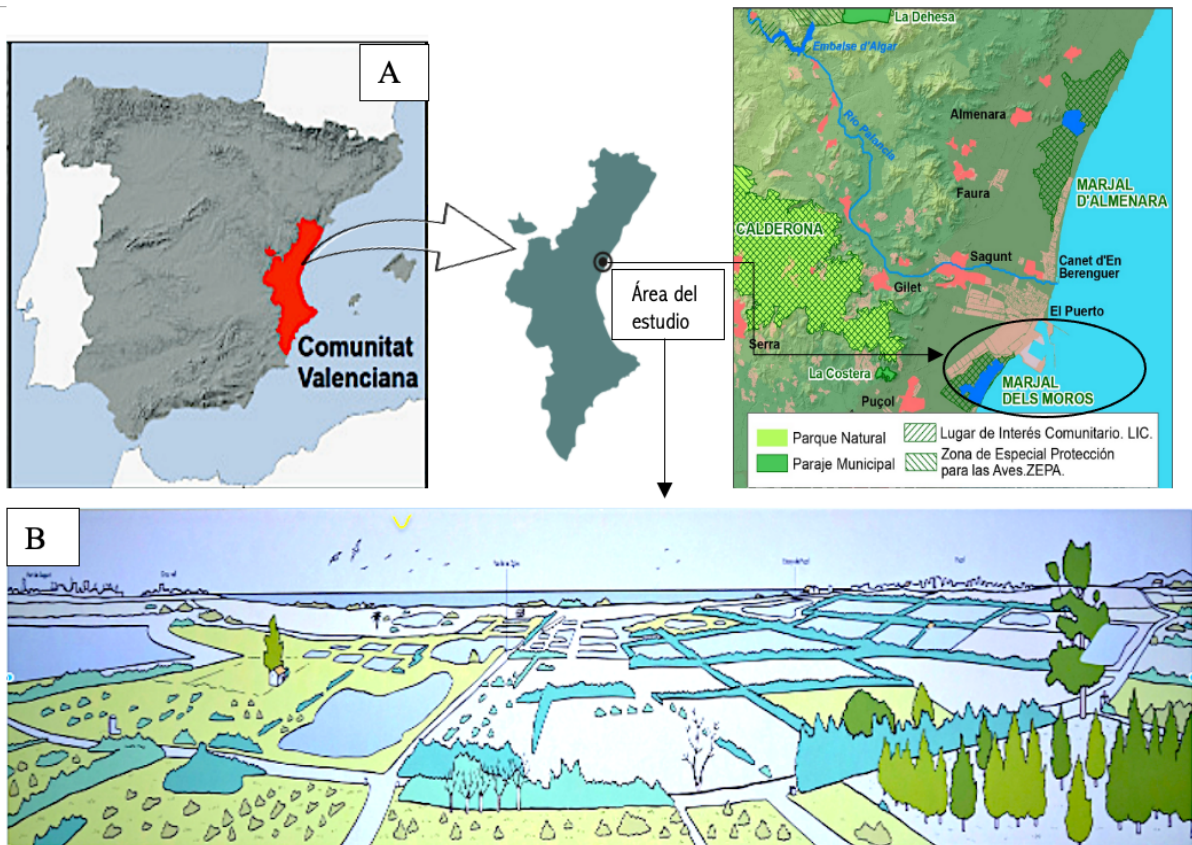


Figura 9. Ubicación de la zona Marjal dels Moros: A) Localización geográfica del área (adaptado desde fuente: Atlas, 2021; Antequera y Hermosilla, 2021); B) Vista panorámica del humedal.

Actualmente, es un lugar de gran importancia medioambiental, el cual alberga gran cantidad de especies vegetales y animales. Como casi todos los humedales mediterráneos, comparte la temporalidad del régimen hidrológico típico del clima mediterráneo, es decir, estaciones muy marcadas, veranos secos y régimen pluviométrico irregular (Miguélez *et al.*, 2019). El elevado índice de insolación y moderadas precipitaciones que oscilan alrededor de los 400-800 mm es lo más característico del clima de esta zona, así como el factor ecológico más importante para la vegetación natural que aumenta la severidad del macrobioclima Mediterráneo y las sequías en verano.

La figura 10 muestra el climograma resultante de los registros climáticos (precipitación y temperatura media mensual) de la zona de Sagunto (próxima a la Majal del Moros) correspondientes al período de 2010 a 2020.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

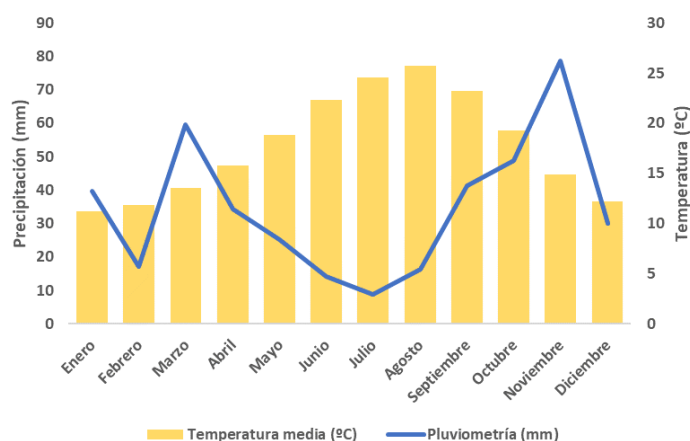


Figura 10. Climograma resultante de la zona Sagunto, período de 2010-2020.

Según [Rivas-Martínez \(2008\)](#), los índices climáticos y bioclimáticos de la zona de estudio, muestran que el índice de termicidad, que relaciona la temperatura con el tipo de vegetación, tiene un valor de 364,7, lo que demuestra que al ser un valor alto, la vegetación de la zona está muy adaptada al calor. El índice ombrotérmico anual de la zona da un valor de 2,12, lo que se corresponde con el ombrotipo de “Seco inferior”.

La tabla 5 muestra las características oceanográficas de la zona costera mediterránea.

Tabla 5. Características oceanográficas del área costera mediterránea (adaptado desde fuente: [Barragán Muñoz, 2004](#))

Parámetro	
Salinidad media de superficie, verano (dS/m)	36,3 - 37,5
Humedad relativa (%)	69,62
Salinidad media de superficie, invierno (dS/m)	36,3 - 37,8
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³), valores habituales	0,1 - 0,5

A pesar de la exposición al viento y alta salinidad, la variedad y singularidad de los ecosistemas que constituyen el litoral hacen de éste un espacio de alto valor ecológico, con una considerable diversidad biológica y un considerable nivel de endemidad.

El suelo es uno de los factores que determina las condiciones y distribución de las plantas a través de sus variaciones fisicoquímicas y biológicas. También es el factor del cual depende el acceso a los nutrientes y por tanto, decisivo en el aislamiento y en los procesos de especiación de las especies vegetales. Las plantas que se han desarrollado y diversificado en estas condiciones adquieren características especiales adaptando su morfología y metabolismo para sobrevivir durante los períodos severos y el rebrotar posterior ([Sánchez-Mata y Morales, 2016](#)).

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

III.3. FICHAS DE LAS ESPECIES DEL ESTUDIO EN FUNCIÓN DE ESTACIONALIDAD DE CADA GRUPO

Las siete plantas infravaloradas evaluadas como material vegetal en el presente trabajo corresponden a diferentes familias botánicas. La selección de estas especies se realizó atendiendo a diferentes criterios, entre los que destaca, la presencia y abundancia en la zona de estudio, la posibilidad de realizar cultivo bajo condiciones de agricultura ecológica de dos de las especies, la importancia cultural de estas plantas silvestres y el potencial futuro que pueden desarrollar. La población silvestre de cada especie fue recolectada durante dos temporadas de crecimiento en la campaña 2020-2021 según su estacionalidad:

1) Dos especies de la estación primavera-verano (entre junio-julio):

- *Portulaca oleracea* L. (Portulacaceae)
- *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. (Asteraceae)

2) Cinco especies de la estación otoño-invierno (entre septiembre-octubre):

- *Stelaria media* (L.) Vill (Cariophyllaceae)
- *Tropaeolum majus* L. (Tropaeolaceae)
- *Chenopodium album* L. (Chenopodiaceae)
- *Sonchus oleraceus* L. (Asteraceae)
- *Diploaxis eruroides* (L.) DC. (Brassicaceae)

Las especies seleccionadas tienen en común la coexistencia temporal de germinado y de desarrollo vegetativo:

- para el grupo de primavera-verano, la germinación a finales de primavera y desarrollo vegetativo a principio de verano;
- para el grupo de otoño-invierno, la germinación se produce al principio de otoño y el desarrollo vegetativo óptimo se alcanza en el período otoño-invierno.

Se trata de plantas anuales de consistencia herbácea que prefieren climatologías suaves, se adaptan a todo tipo de suelos y son tolerantes a la salinidad. Las semillas de todas las especies de este estudio germinan con las primeras lluvias que se producen en los períodos respectivos de primavera-verano y/o de otoño-invierno, cuando sube la humedad del suelo. El ciclo de vida de cada especie depende de las condiciones genéticas específicas y las condiciones edafoclimáticas del período correspondiente.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Las fichas individuales de cada una de las siete especies estudiadas proporciona la información correspondiente, indicando la familia botánica, los nombres en otros países, sinonimia, distribución y descripción breve, las partes útiles comestibles y los usos tradicionales, así como las propiedades farmacológicas con constituyentes fitoquímicos reportados en bibliografía.

III.3.1. Plantas de primavera-verano

Portulaca oleracea L.

Denominaciones vernaculares [1]:

España: verdolaga, portulaca

USA y Australia: purslane, pursley

Inglaterra: pigweed

Francia: pourpier

China: Ma-Chi-Xian

América Latina: lengua de gato, verdadera, verdulaga [2]

Portugal: beldroega

Italia: purselana, purciaca [3], barzellana [4], andracla, perchiazze [5]

Determinación botánica

Reino: Plantae

Subdivisión: Angiospermae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub-clase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Portulacaceae

Género: *Portulaca*

Especie: *Portulaca oleracea* L.



Sinonimia [6,7]

Portulaca intermedia Link ex Schtdl.

Portulaca marginata Kunth

Portulaca mundula I.M.Johnst.

Portulaca neglecta Mack. & Bush

Portulaca pusilla Kunth

Portulaca retusa Engelm.

Portulaca consanguinea Schtdl.

Portulaca fosbergii Poelln.

Portulaca hortensis Rupr.

Portulaca latifolia Hornem.

Portulaca sativa Haw.

Portulaca suffruticosa Thwaites

Portulaca olitoria Pall.

Portulaca consanguinea Schtdl.

Distribución y descripción y [4,6,7]

Probablemente de origen asiático. Planta anual

de textura succulenta. Las flores de color amarillo, sésiles, solitarias o agrupadas. Semillas diminutas negras contenidas en pequeñas cápsulas. Cosmopolita, de clima templado, ruderal y arvense, se adapta a cualquier tipo de suelo.

Partes útiles y usos tradicionales [4]

Partes aéreas: flores, tallos y hojas. Se consumen como ensaladas frescas sola o combinada, como verdura cocinada, sopas, salsas, condimento, encurtidos.

Propiedades farmacológicas [1,4]

Diurética, antihelmíntica, antidiabética, antioxidante, neuroprotectora, antimicrobial, antiinflamatoria, sedante, hepatoprotector, antihipertensiva, antiulcerogénica.

Constituyentes fitoquímicos [1]

Familias químicas	Constituyentes
Flavonoides	kaempferol, myricetina, luteolina, apigenina, quercetina, genestina
Alcaloides	dopa, dopamina, noradrenalina
Ácidos grasos	ω -3
Terpenoides	portulosidos A y B, diterpenos, triterpenos
Vitaminas	vitaminas A y E, ácido ascórbico, vitaminas del complejo B

Referencias:

- Zhou, Y.X., Xin, H.I., Rahman, K., Wang, S.J., Peng, C., Zhang, H. (2015). *Portulaca oleracea* L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. *Bio Med research international*, 925631. <https://doi.org/10.1155/2015/925631>
- <https://www.tropicos.org/name/Search?name=porophyllum%20ruderales>
- <https://antropocene.it/es/2017/05/20/portulaca-oleracea/>
- https://galipedia.org/wiki/Portulaca_oleracea
- Leonti, M., Nebel, S., Rivera, D. *et al.* (2006). Wild gathered food plants in the European mediterranean: A comparative analysis. *Econ Bot* 60, 130–142. [doi.org/10.1663/00130001\(2006\)60\[130:WGFPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/00130001(2006)60[130:WGFPI]2.0.CO;2)
- <https://hort.extension.wisc.edu/articles/common-purslane-portulaca-oleracea/>
- <https://colombia.inaturalist.org/taxa/58991-Portulaca-oleracea>

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass.

Denominaciones vernaculares

España: quirquiña, ruda de gallinazo

USA: yerba porosa, summer cilantro [2,3]

Inglaterra: summer cilantro [1]

Francia: coriandre bolivienne

América Latina: cilantro boliviano (Bolivia), pápaloquelite (México), killi, rupay wachi (Perú), ochica (Colombia), árnica (Brasil) [4]

Portugal: couve-cravinho [5]

Determinación botánica [2,3]

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

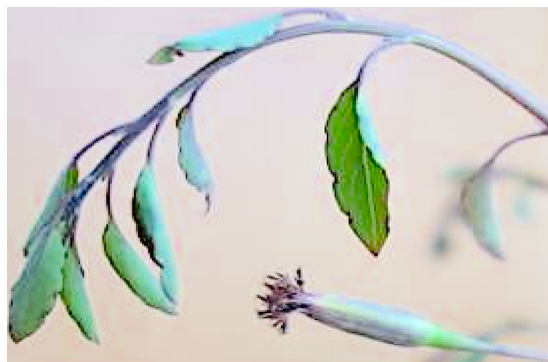
Sub-clase: Asteridae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Porophyllum* Guett.

Especie: *Porophyllum ruderale*



Distribución y descripción [4,6,8]

Planta anual, nativa del continente americano. Tallos y hojas lisos, con glándulas oleíferas en los márgenes y en el ápice. Las flores son amarillentas y tubulares. Habita en climas cálidos y templados, ruderal, crece en una gran diversidad de suelos, incluidos los pobres y arenosos. Se reproduce por semillas.

Partes útiles y usos tradicionales

Partes aéreas: tallos tiernos y hojas. Se consumen como ensaladas frescas, como verdura y condimento, para resaltar salsas picantes y sopas.

Propiedades farmacológicas [4,6,9]

Hepatoprotector, diurético, laxante, antiinflamatorio, analgésico, antiespasmódico, antibacteriano y antifúngico, expectorante, fotoprotector, antileishmanial, lesiones cutáneas, antinociceptivo.

Constituyentes fitoquímicos [4,5,6]

Familias químicas	Constituyentes
Vitaminas	retinol, ácido ascórbico, niacina, tiamina, riboflavina
Ácidos grasos	mirístico, palmítico, linoleico, linolénico
Terpenoides	monoterpenos (limoneno, β-ocimeno, mirceno), sesquiterpenos (espatulenol, cariofileno); triterpenos
Alcaloides	
Flavonoides	
Polisacáridos	
Aceites esenciales	

Referencias:

- <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/porophyllum-macrocephalum/fichas/ficha.htm>
- https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=524564#null
- <https://plants.usda.gov/home>
- <https://colombia.inaturalist.org/taxa/78701-Porophyllum-ruderale>
- Fonseca, M.C.M., Meira, R.M.S.A., Casali, V.W.D. (2006). Vegetative organ anatomy and histolocalization of lipids and phenolics compounds in *Porophyllum ruderale* (Asteraceae). *Planta Daninha*, 24, 707-713. doi:10.1590/S0100-83582006000400011
- Takahashi, H.T., Novello, C.R., Ueda-Nakamura, T., Palazzo de Mello, J.C., Nakamura, C.V. (2011). Thiophene derivatives with antileishmanial activity isolated from aerial parts of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. *Molecules*, 16(5), 3469-3478. doi:10.3390/molecules16053469
- https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/?func=find-b&find_code=WRD&request=porophyllum+ruderale
- Lima, G.M., Bonfim, R.R., Silva, M.R., Thomazzi, S.M., Santos, M.R., Quintans-Júnior, L.J., & Araújo, A.A. (2011). Assessment of antinociceptive and anti-inflammatory activities of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., Asteraceae, aqueous extract. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21(3), 486-490. doi:10.1590/S0102-695X20110050

III.3.2. Plantas de otoño-invierno

Stellaria media (L.) Vill

Otro nombre científico: *Alsine media* L.

Denominaciones vernaculares [1]:

España: berillo, pamplina, yerba gallinera

USA: common chickweed, satin flower, starwort, chickenwort

Francia: morgéline; mouron des oiseaux; stellaire intermediaire

América Latina: caapiqui (Argentina), quilloi (Chile)

Portugal: morugem; morugem-branca; morugem-vulgar

Italia: centocchio; paperina comune

Determinación botánica [2,3]

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub-clase: Magnolidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Caryophyllaceae

Género: *Stellaria* L.

Especie: *Stellaria media* (L.) Vill



Sinonimia [2]

Stellaria media (L.) Cirillo

Stellaria media (L.) J.C. Sowerby & Sm.

Stellaria media var. *apetala* Rouy & Foucaud

Stellaria media var. *decandra* Fenzl

Stellaria media subsp. *major* Arcang

Stellaria media var. *micrantha* (Hayata)

Stellaria media subsp. *postii* Holmboe

Distribución y descripción [1]

Es originaria de Europa. Es cosmopolita, muy difundida en el mundo, ruderal. Hierba anual de invierno. Se reproduce por semillas, aunque también se produce la reproducción vegetativa. Fenotípicamente es muy variable. Flores pequeñas blancas. Tallos característicos de sauces débiles.

Partes útiles y usos tradicionales [1,4]

Partes aéreas: flores, tallos y hojas. Raíz y semillas. Se consumen como ensaladas frescas, solas o combinadas. También se consume en infusión, sopas, guisos, y como especia.

Propiedades farmacológicas [4,5]

Expectorante, mucolítico, diurético, emoliente. Eficaz en trastornos intestinales, respiratorios, cutáneos y psicológicos. Anti-inflamatorio. Anti-obesidad. Antimicrobiano.

Constituyentes fitoquímicos [4]

Familias químicas	Constituyentes
Compuestos fenólicos	luteolina, flavonas, isoquercetina, genisteina, apigenina; ácidos hidroxycinámicos
Aminoácidos esenciales	glicina, alanina, lisina, tirosina
Terpenoides	tetrametiloctano, 2,2,4-trimetilaoctan-3-ona, 6-metil-heptil-30-hidroxi-20-metilpropanoato
Vitaminas	ácido ascórbico, tocoferol, carotenoides

Referencias:

- <https://www.cabi.org/isc/datasheet/51635>
- <https://www.tropicos.org/name/Search?name=STELLARIA%20MEDIA>
- https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=20169#null
- Oladeji, O.S., Oyebamiji, A.K. (2020). *Stellaria media* (L.) Vill. A plant with immense therapeutic potentials: phytochemistry and pharmacology. *Heliyon*, 6(6), e04150. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04150>
- Soutullo, E.C., Muñoz, C.F., Pazó, R.M., Alonso, R.M., Boente, M.J.R. (2015). Hierbas medicinales: uso en la cultura gallega. *Revbigo*, 7:105-112

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Tropaeolum majus L.

Denominaciones vernaculares [1]:

España: capuchina, taco de reina, mastuerzo

USA: common nasturtium, Indian Cress, nose-twister [2]

Francia: grande capucine, cresson d'Inde

América Latina: berro indio (Perú)

Portugal: cingo-chaga, capuchinha

Italia: nasturzio

Determinación botánica [3]

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub-clase: Rosidae

Orden: Geraniales

Familia: Tropaeolaceae

Género: *Tropaeolum*

Especie: *Tropaeolum majus* L.



Sinonimia [4]

Cardaminum majus Moench

Nasturtium indicum Garsault [invalid]

Tropaeolum elatum Salib.

Tropaeolum hortense Sparre

Tropaeolum hybridum L.

Tropaeolum pinnatum Andrews

Tropaeolum quiquelobum Bergius

Tropaeolum majus (L.) Kuntze

Distribución y descripción [3,5]

Planta anual, nativa de Sud América. Tallos largos, flores de cinco pétalos de colores muy llamativos, hojas grandes circulares con venas de color claro que irradian desde peciolo central.

Partes útiles y usos tradicionales [2]

Partes aéreas: flores, capullos, hojas y semillas. Las flores y hojas tiernas se usan en ensaladas frescas; las semillas jóvenes se usan como sustituto de las alcaparras. Los cogollos se utilizan como condimento.

Propiedades farmacológicas [5,6]

Diurético, antiinflamatorio, neuroprotector, antihipertensivo, antimicrobiano. Efectivo en trastornos cutáneos y pulmonar, expectorante, actividad anticancerígena y antioxidante.

Familias químicas Constituyentes

Ácidos hidroxycinámicos	Ferúlico, gálico, clorogénico, cafeico
Ácidos grasos	familia de omegas
Flavonoides	isoquercitina, antocianidinas (delfinidina- flores rojas; pelargonidina- flores naranjas), quercetina
Vitaminas	carotenoides, ácido ascórbico
Glucosinolatos	glucotropaeolina
Alcaloides	
Terpenoides	

Referencias:

- Green, A. (2008). El libro de las especies: Hierbas aromáticas y especias. Ed. Reinbook, BonVivant ISBN:978-84-96054-35-6
- <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/tropaeolum/>
- <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/52667>
- <http://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Tropaeolum+majus>
- Brondani, J.C., Cuelho, C.H.F., Marangoni, L.D., de Lima, R., Guex, C.G., de França Bonilha, I., Manfron, M.P. (2016). Traditional usages, botany, phytochemistry, biological activity and toxicology of *Tropaeolum majus* L. A review. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 15(4), 264-273.
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017>
- Jakubczyk, K., Janda, K., Watychowicz, K., Lukasiak, J., Wolska, J. (2018). Garden nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) a source of mineral elements and bioactive compounds. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 69(2).

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Chenopodium album L.

Denominaciones vernaculares [1,2]:

España: cenizo, pata de ganso,
USA: baconweed, fat hen, goosefood, pigweed
Francia: aserine blanche, chenopode blanc, farineuse
America Latina: mastruz (Brasil)
Portugal: acarinha branca, catassol
Italia: farinaccio, selvático
Hindi: bathu sag [3]
China: bathua [4]

Determinación botánica [5]

Reino: Plantae
Subdivisión: Angiospermae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Sub-clase: Caryophyllidae
Orden: Caryophyllales
Familia: Chenopodiaceae
Género: *Chenopodium*
Especie: *Chenopodium album* L.



Sinonimia [1,6]

Chenopodium album var. *acuminatum* (Willd.) Kuntze
Chenopodium album var. *andinum* J.Rémy
Chenopodium album var. *dacoticum* Aellen
Chenopodium album var. *lanceolatum* (Muhl. ex Willd) Coss. & Germ
Chenopodium album var. *quinoa* (Willd.) Kuntze
Chenopodium album var. *viride* (L.) Moq.

Distribución y descripción [1,6]

Nativa de Europa y Asia. Cosmopolita, de clima templado se adapta a cualquier tipo de suelo. Planta anual, considerada como una mala hierba común. Presenta una inflorescencia grande que consiste en racimos de flores. Las flores son poco vistosas; tallos erectos ramificados hacia

el ápice; cada planta produce gran cantidad de semillas contenidas en pequeñas cápsulas.

Partes útiles y usos tradicionales [1,3,6]

Partes jóvenes aéreas: flores y hojas; semillas. Ensaladas frescas sola o combinada, como verdura cocinada, sopas. Infusiones. En África occidental se utiliza en salsas; en Himalaya para panqueque y pan (semillas) y bebidas fermentadas.

Propiedades farmacológicas [4,6,8]

Antihelmintico, antioxidante, cardiotónico, diurético, laxante, carminativo y digestivo. Para trastornos hepáticos, úlceras intestinales. Efectivo para quemaduras y combatir la anorexia. Antiprurítico, antinociceptivo y sedante.

Constituyentes fitoquímicos [6,7,8]

Familias químicas	Constituyentes
Flavonoides, fenoles	kaempferol, quercetina, rutina
Aminoácidos esenciales	lisina, methionina
Vitaminas-pigmentos	vitaminas A, ácido ascórbico, carotenoides
Alcaloides	trigonelina, quinopodina
Saponinas	chenopodosídeos A/B

Referencias:

- <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/chenopodium-album/>
- <https://www.cabi.org/isc/datasheet/12648>
- Yadav, N., Vasudeva, N., Singh, S., Sharma, S.K. (2007). Medicinal properties of genus *Chenopodium* Linn. *Natural Product Radiance*, 6(2), 131-134.
- Ma, Q.G., Wei, R.R., Zhang, X.D., Sang, Z.P., Dong, J.H., Lu, Q.X., et al. (2020). Tropolone derivatives with hepatoprotective and antiproliferative activities from the aerial parts of *Chenopodium album* Linn. *Fitoterapia*, 146, 104733. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104733>
- Saini, S., Saini, K.K. (2020). *Chenopodium album* Linn: An outlook on weed cum nutritional vegetable along with medicinal properties. *Emergent Life Sci Res*, 6, 28-33. <https://doi.org/10.31783/elsr.2020.612833>
- Choudhary, S.P., Sharma, D.K. (2014). Bioactive constituents, phytochemical and pharmacological properties of *Chenopodium album*: a miracle weed. *Int. J. Pharmacogn*, 1(19), 545-552
- <https://www.tropicos.org/name/Search?name=Chenopodium%20album>
- Poonia, A., Upadhayay, A. (2015). *Chenopodium album* Linn: review of nutritive value and biological properties. *J Food Sci Technol* 52, 3977-3985. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1553-x>

Sonchus oleraceus L.

Denominaciones vernaculares [1,2]:

España: cerraja, borraja, cardo hueco, cardo lechero

USA: sow-thistle, milky tassel, swinies

Francia: chardon blanc, laiteron commun

América Latina: achicoria, falso diente de león, lechugilla (México)

Portugal: cerralha

Italia: zuccho [3]

Grecia: tsochos [3]

Determinación botánica

Reino: Plantae

Subdivisión: Angiospermae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

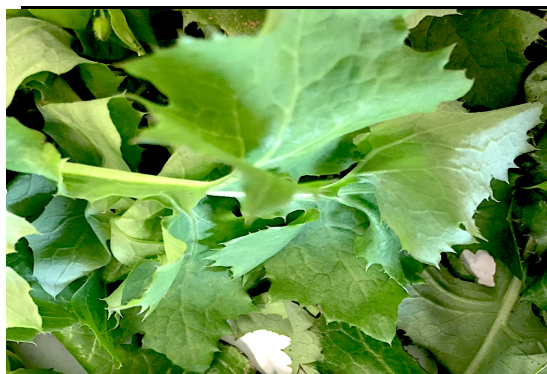
Sub-clase: Asteridae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Sonchus*

Especie: *Sonchus oleraceus* L.



Sinonimia [4]

Sonchus oleraceus fo. albescens Neum

Sonchus oleraceus var. asper L.

Sonchus oleraceus fo. integrifolius Beck

Sonchus oleraceus var. laevis L.

Sonchus oleraceus var. littoralis Kirk

Sonchus oleraceus var. oleraceus

Descripción y distribución [2]

Planta anual. Cosmopolita. Originaria de Europa y Asia central. Se considera una maleza común, crece en suelos diferentes. Ruderal y arvense. Tallo hueco erguido. Sus inflorescencias son capituladas. Con flores numerosas pequeñas. Las hojas con pequeñas espinas en sus márgenes. Las semillas son pequeñas y livianas.

Partes útiles y usos tradicionales [2,3]

Partes aéreas: flores, tallos y hojas. Las hojas jóvenes se consumen en ensaladas frescas sola o combinada; las hojas más maduras se consumen como verdura cocinada o sofrita, y en sopas. También en infusiones y zumos.

Propiedades farmacológicas [3,5,6]

Estimulante del apetito, diurético, laxante. Hipoglucémico, antiinflamatorio, analgésico, antinociceptivo, sedativo y antioxidante.

Constituyentes fitoquímicos [5,7,8,9]

Familias químicas	Constituyentes
Ácidos hidroxycinámicos; flavonoides	ácidos caftarico, clorogénico, chicórico; quercetina, apigenina, luteolina
Vitaminas	ácido ascórbico, carotenoides
Ácidos grasos	familia omegas
Saponinas	
Alcaloides	
Glucósidos	
sesquiterpénicos	

Referencias:

- <https://www.cabi.org/isc/datasheet/50584>
- https://hmong.es/wiki/Sonchus_oleraceus
- Leonti, M., Nebel, S., Rivera, D. *et al.* (2006). Wild gathered food plants in the European mediterranean: A comparative analysis. *Econ Bot* 60, 130–142. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2006\)60\[130:WGFPIIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2006)60[130:WGFPIIT]2.0.CO;2)
- <https://www.tropicos.org/name/Search?name=sonchus%20oleraceus>
- Li, X.M., Yang, P.L. (2018). Research progress of *Sonchus* species. *Int J Food Prop*, 21(1), 147-157. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1415931>
- Ahmad, F., Abdallah, E.T., Kamil, M. (2021). Scientific studies on aerial parts of *Sonchus oleraceus* Linn. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 7(2), 194-214.
- Saxena, A., Kumar, J. (2020). Phytochemical Screening, Metal-Binding Studies and Applications of Floral Extract of *Sonchus oleraceus* as a Corrosion Inhibitor. *J Bio Tribo Corros* 6, 55. <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00349-8>
- Puri, A.V., Khandagale, P.D., Ansari, Y.N. (2018). A review on ethnomedicinal, pharmacological and phytochemical aspects of *Sonchus oleraceus* linn. (Asteraceae). *IJPBS*, 8(3)
- Guarrera, P.M., Savo, V. (2013). Perceived health properties of wild and cultivated food plants in local and popular traditions of Italy: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 146(3), 659-680.

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Diplotaxis erucooides (L.) DC

Denominaciones vernaculares [1]:

España: wasabi mediterráneo,
USA: white rocket, fine caterpillar
Francia: fausse-roquette
Italia: ruchetta violacea
Grecia: agria roka

Determinación botánica

Reino: Plantae
Subdivisión: Magnoliophytina
División: Spermatophyta
Clase: Magnoliopsida
Sub-clase: Rosidae
Orden: Brassicales
Familia: Brassicaceae / Cruciferae
Género: *Diplotaxis*
Especie: *Diplotaxis erucooides* (L.) DC



Sinonimia [2,3]

Diplotaxis erucooides var. *dasycarpa*
O.E. Schulz
Diplotaxis erucooides var. *erucooides*
Diplotaxis erucooides var. *valentina* (Pau)
O.E. Schulz
Diplotaxis hispidula Ten
Diplotaxis platystilos Willk
Diplotaxis erucooides var. *cirenaica*
E.A. Duran & Barrante

Descripción y distribución [1,4]

Procedente de Europa, región Mediterránea. Planta anual que comúnmente crece como mala hierba durante otoño-invierno. Todas las especies son más o menos ruderales.

Partes útiles y usos tradicionales [1,5,6]

Partes aéreas: hojas y flores. Las hojas jóvenes y brotes se consumen como ensaladas frescas sola o combinada, como verdura cocinada; sopas o condimento.

Propiedades farmacológicas [1,7]

Anticancerígeno, antibacteriano, cicatrizante anti-inflamatorio, hipoglucémico.

Constituyentes fitoquímicos [7,8,9,10]

Familias químicas	Constituyentes
Flavonoides	kaempferol, quercetina, ramnetina, miricetina
Glucosinolatos	sinigrina, glucoiberina, glucobrassina, gluconasturtina
Ácidos grasos	palmítico, oleico, linoleico
Carotenoides	luteína, β-caroteno
Ácidos fenólicos	Cafeico, clorogénico, ferúlico, gálico, p-coumarínico
Terpenoides	

Referencias:

1. Corrêa, R.C., Di Gioia, F., Ferreira, I.C., Petropoulos, S.A. (2020). Wild greens used in the Mediterranean diet. *The Mediterranean Diet* (pp. 209-228). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818649-7.00020-5>
2. [https://www.tropicos.org/name/Search?name=DIPLOTAXIS%20ERUCOIDES%20\(L.\)%20DC](https://www.tropicos.org/name/Search?name=DIPLOTAXIS%20ERUCOIDES%20(L.)%20DC)
3. <https://www.gbif.org/es/species/5376309>
4. Pignone D., Martínez-Laborde, J.B. (2011). *Diplotaxis*. In: Kole C. (eds) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14871-2_7
5. Disciglio, G., Tarantino, A., Frabboni, L., Gagliardi, A., Giuliani, M.M., Tarantino, E., Gatta, G. (2017). Qualitative characterisation of cultivated and wild edible plants: Mineral elements, phenols content and antioxidant capacity. *Italian Journal of Agronomy*, 12(4):1036. doi:10.4081/ija.2017.1036
6. Parada, M., Carrió, E., Vallès, J. (2011). Ethnobotany of food plants in the Alt Emporda region (Catalonia, Iberian Peninsula). *J Appl Bot Food Qual*, 84(1), 11-25.
7. Attard, E., Pacioni, P. (2012). The phytochemical and in vitro pharmacological testing of Maltese medicinal plants. *Bioactive Compounds in Phytomedicine. In Tech Publisher, USA*, 93-112.
8. Bell, L., Wagstaff, C. (2019). Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species. *Food chemistry*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2018.100002>
9. Guijarro-Real, C., Rodríguez-Burruezo, A., & Fita, A. (2020). Volatile profile of wall rocket baby-leaves (*Diplotaxis erucooides*) grown under greenhouse: Main compounds and genotype diversity. *Agronomy*, 10(6), 802. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060802>
10. Salvatore, S., Pellegrini, N., Brenna, O.V., Del Rio, D., Frasca, G., Brighenti, F., Tumino, R. (2005). Antioxidant characterization of some Sicilian edible wild greens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24), 9465-9471. <https://doi.org/10.1021/jf051806r>

III. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

III.4. REFERENCIAS PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

- Antequera, M., Hermosilla, J. (2021).** Paisajes turísticos valencianos, valiosos y valorados [Blog] “La Marjal dels Moros. Sagunt. Un pequeño humedal mediterráneo de ecosistemas muy valiosos.” <http://paisajesturisticosvalencianos.com/paisajes/la-marjal-dels-moros-sagunt> [acceso 20 de febrero, 2022]
- Aranegui Cascó, C., Ruiz, J.M., Carmona, P. (2005).** El humedal del puerto de Arse-Seguntum. Estudio Geomorfológico y sedimentológico. *SAGVNTVM, Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 37, 153-163. DOI: [10.7203/SAGVNTVM.37.1033](https://doi.org/10.7203/SAGVNTVM.37.1033)
- Atlas-MEDITERRÁNEA. A. D. L. E. III. 2A. LAS UNIDADES DE PAISAJE AGRARIO DE LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA: HUERTAS Y CULTIVOS INTENSIVOS.** https://www.researchgate.net/profile/Emilio-Iranzo-Garcia/publication/273576070_La_Huerta_de_Valencia_Incertidumbre_para_un_paisaje_cultural_ancestral/links/5616ad1108ae1a8880031dd5/La-Huerta-de-Valencia-Incertidumbre-para-un-paisaje-cultural-ancestral.pdf [acceso 5 de febrero, 2022]
- Barragán Muñoz, J.M. (2004).** Las áreas litorales de España del análisis geográfico a la gestión integrada. Editorial Ariel. Barcelona. 214 pp.
- FAO (2017).** Directrices voluntarias para la conservación y el uso sostenible de parientes silvestres de cultivos y plantas silvestres comestibles. <https://www.fao.org/3/i7788s/i7788s.pdf> [acceso 28 de febrero, 2022]
- García, J.M.S., Romo, S., Palacios, A.P., Picazo, A.G., Catalá, T.A., García, S.C., ... & Fernández, I.A. (2015).** Evaluación de la conservación de los humedales costeros de la Comunidad Valenciana mediante imágenes de Landsat. Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección. (Eds. J. Bustamante, R. Díaz-Delgado, D. Aragonés, I. Afán y D. García). pp. 354-357.
- Laguna, E., Gallego, P.P.F. (2016).** Global environmental changes in a unique flora endangered plant communities in the Valencia region. *Mètode Science Studies Journal*, (6), 36-4. doi: [10.7203/metode.6.4127](https://doi.org/10.7203/metode.6.4127)
- Miguélez, D., Zumalacárregui, C., Guillem, A., Tirado, M., Piera, M., Polo, T., Monrós, J., Mompó, C., Oliver, R. (2019).** Importancia de los humedales del litoral valenciano para la migración del carricerín cejudado *Acrocephalus paludicola*. *NEMUS*, 9, 118-127.
- Rivas-Martínez, S. (2008).** Global bioclimatics. (Clasificación Bioclimática de la Tierra). *Phytosociological Research Center*. http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics-2008_00.htm [acceso 18 febrero, 2022]
- Sánchez-Mata, D., Morales, R. (2016).** The Mediterranean landscape and wild edible plants. In *Mediterranean Wild Edible Plants* (pp. 15-31). Springer, New York, NY. doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_2
- Sanchis, C., Ferri, M. (1997).** La Marjal dels Moros, sistema natural y producto antrópico. Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles. Santiago, 15-19 setembre 1997, Vol. 1, págs. 257-266.

IV. PUBLICACIONES

IV.1. CAPÍTULO 1: CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS DOS PLANTAS SILVESTRES inherentes al período primavera-verano

PUBLICACIÓN 1:



plants

an Open Access Journal by MDPI



Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Volatiles Profile
Characterization of Two Edible Undervalued Plants: *Portulaca oleracea*
L. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass

Tamara Fukalova Fukalova; María Dolores García-Martínez; María Dolores Raigón

Plants 2022, Volume 11, Issue 3, 377

Citation: Fukalova Fukalova, T.;
García-Martínez, M.D.; Raigón, M.D.
Nutritional Composition, Bioactive
Compounds, and Volatiles Profile
Characterization of Two Edible
Undervalued Plants: *Portulaca*
oleracea L. and *Porophyllum ruderale*
(Jacq.) Cass. *Plants* 2022, 11, 377.
[https://doi.org/10.3390/
plants11030377](https://doi.org/10.3390/plants11030377)

Academic Editors: Vincenzo De Feo
and Lucia Caputo

Received: 10 January 2022

Accepted: 26 January 2022

Published: 29 January 2022

Publisher's Note: MDPI stays
neutral with regard to jurisdictional
claims in published maps and
institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors.
Licensee MDPI, Basel, Switzerland.
This article is an open access article
distributed under the terms and
conditions of the Creative Commons
Attribution (CC BY) license
([https://creativecommons.org/licenses/
s/by/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Laboratorio de Fitoquímica y Productos Biológicos, Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Central del Ecuador, Quito 170521, Ecuador; tfukalova@uce.edu.ec
Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana, Universitat
Politécnica de València, 46022 Valencia, Spain; magarma8@qim.upv.es

Correspondence: mdraigon@qim.upv.es; Tel.: +34-963-877347

<https://doi.org/10.3390/plants11030377>

Abstract:

Wild edible plants are an important source of healthy food and have played an important role in traditional Mediterranean diets. In this paper, quality characteristics were typified in *Portulaca oleracea* L. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass, undervalued plants inherent to the spring-summer season in the Valencian coastal region. Nutritional composition and bioactive compounds were analyzed and compared between plants in wild and organic cultivation conditions. Proximate analysis was carried out according to Association of Official Analytical Chemists methods. Total antioxidants were measured as 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl hydrate and total polyphenols content via the Folin–Ciocalteu procedure. The HS-SPME technique was used to characterize the volatiles profile, and the polyphenol profile was evaluated by HPLC. The most important microelement was iron. Total antioxidants ranged from 4392.16 to 7315.00 $\mu\text{mol Trolox}\cdot\text{equivalents } 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$, and total phenolic content ranged from 99.09 to 391.18 mg gallic acid equivalents $\cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$. Results show that the content of antioxidants and phenols was higher in wild species than in cultivated ones. The volatiles profile revealed that *P. ruderale* was rich in monoterpenoids (48.65–55.82%), and fatty alcohols were characteristic in *P. oleracea* species (16.21–54.18%). The results suggest that both plants could be healthy foods and could have new sustainable agro-ecological potential for the local commercial sector.

Keywords: healthy food; quality characteristics; nutritional composition; bioactive compounds; volatiles profile; undervalued plants

1. Introduction

The Food and Agriculture Organization of the United Nations estimates that 75% of the genetic diversity of the world's crops has been lost. Of the 7000 species that have been used as food, fiber, textile, medicine throughout history, only about 150 are cultivated for human and animal consumption [1]. The rest of plant species are underused and undervalued, causing loss of agrobiodiversity in territories [2,3], even though many of these plants have high economic, ecological, and food potential. Factors such as climate change, deforestation, and cultural erosion influence the disappearance of many plant species that at times were very important in human intake as healthy food, giving them the status of undervalued, with serious consequences for agriculture, nutrition, and food security [4]. In a context of climate, environmental, and social crisis, undervalued plant species are considered important to farms and farmers [5].

Providing the growing world population with healthy food based on sustainable and alternative food systems is a pressing social challenge of the 21st century [6], even more so considering the situation generated by the COVID pandemic, which essentially highlighted the need for change in many aspects of modern life, among which include food sustainability and the conservation of undervalued plants as future resources [7,8].

Today, part of this ethnobotanical heritage is being recovered, providing technical scientific information on the species composition, botanical value, and potential for current and future uses [9,10]. Originally, one of the identifying characteristics of the traditional Mediterranean diet was the introduction of the closest edible resources, which allowed for the incorporation of wild plants for consumption, some of which are still valid in current elaborations, forming part of the local dishes and enriching them with flavor and nutritional value. The gathering of wild edible plants is linked to their seasonality and is part of the traditional regional knowledge. Being seasonal plants, they play a fundamental role in response to climate changes due to their long process of natural selection [11,12].

Many plants have been reevaluated and have received considerable attention, mainly focusing on ethnobotanical and pharmacological aspects. The potential of edible plants in terms of their nutritional and bioactive benefits have been investigated only in a few cases, despite representing a particular aspect of local biodiversity and being an important food source, especially in the Mediterranean Basin [13–15]. In this region, the environment is characterized by a greater abundance of endemic flora. The richness and diversity of wild species, their collection times, and edaphoclimatic and growing environments make it

difficult to standardize their nutritional composition, causing heterogeneity of their components [16–19]. Consequently, the highest contents of bioactive components are obtained by respecting their temporality and optimal vegetative development [10].

Mediterranean traditions have made it possible for a considerable number of wild plants to remain present in the human diet [20]. These plants are still consumed locally, alone or in combination with cultivated species, in various ways, such as fresh (salad), cooked (soup and boiled), and as condiments for their organoleptic properties. The seasonal consumption of undervalued species allows, on the one hand, to minimize the resources used for their growth, since they easily adapt to environmental conditions, and on the other hand, offers a range of foods with seasonal alternatives throughout the year, providing a variety of meals and the development of a sustainable cuisine [21,22]. Consuming these plants prevents chronic degenerative diseases, cardiovascular diseases, and obesity, among others [23,24]. For this reason, traditional food items resort to the use of edible plants that are indistinguishable from medicinal plants, both of which form part of the biocultural diversity and regional culinary traditions [25]. The increasing demand for healthy foods is renewing interest in the use and research of undervalued wild edible plants.

Currently, conventional crops have displaced many of the once known and appreciated wild species, making them undervalued. Among these undervalued species are *Portulaca oleracea* and *Porophyllum ruderale*, both inherent to the spring-summer season in Mediterranean conditions. According to a previous ethnobotanical review, these selected plants have cultural relevance and are deeply rooted in the traditional cuisine of the Valencian coast [26–31].

Although they are edible wild species and are accessible owing to their abundance during their season, their nutritional and bioactive composition, as well as their phenolic and volatile profiles, have not been scientifically reinforced. Given this situation, we have proposed the following hypothesis: the undervalued edible species *P. ruderale* and *P. oleracea* provide variability in their nutritional, aromatic, and bioactive compounds depending on the environment's growing conditions. For this purpose, the proximate analysis and quantification of bioactive components, in addition to other chemical constituents and the organoleptic matrix, were carried out. An analysis of the volatiles profile, which contains high-value functional components, was performed by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography mass spectrometry (GC/MS), and an analysis of the polyphenol profile was performed by HPLC. This work aims to be a reference to promote

the inclusion of these plants as a nutritional alternative given the high demand for a balanced and healthy diet, and at the same time, due to their wide presence in the corresponding season, to diversify the intake of food and promote the use of traditional gastronomy, thereby establishing a sustainable path for potential new crops. This work also evaluated the differences between the composition of the two species in wild conditions and in organic farming conditions.

2. Results

The proximate nutritional compositions of fresh leaves and small tender stems of *P. ruderale* and *P. oleracea* were evaluated; this also included the most representative macrominerals and microminerals. In addition, the bioactive constituents were characterized under wild and organic farming conditions. Each sample consisted of approximately 1.5 kg of fresh plant with random collection. The data obtained are presented in Table 1. The results are reported as the mean of replicates, alongside the coefficients of variability (CV) of each value and *p*-value, which test the statistical significance of the estimated effect of environment growing conditions.

2.1. Proximate Composition

P. oleracea was the species with higher leaf moisture, which oscillated between 83.12% and 88.39%; in the case of *P. ruderale*, it ranged between 76.64% and 84.70%. In both species, the moisture content of the fresh parts increased under the wild growing conditions with significant differences, and variability of this parameter was low in all cases (between 0.03–1.31%). The dry matter content in the plants tested ranged from 11.61 g·100 g⁻¹ to 23.36 g·100 g⁻¹; the values of this parameter were significantly different between the cultivated and wild conditions for *P. ruderale* (*p* = 0.0000) and *P. oleracea* (*p* = 0.0140). The ash level was lower in species grown in wild conditions compared to their counterparts grown in cultivated conditions, and this difference was accentuated in *P. ruderale* (*p* = 0.0020). The amount of ash was high in *P. oleracea* with 2.62% (wild) and 3.39% (cultivated). Foliar crude protein concentration was found to be higher in wild growth conditions (1.89%) in the case of *P. ruderale*, presenting significant differences from its counterpart in organic cultivation conditions (*p* = 0.0002). For *P. oleracea*, the same patterns were observed without differences between wild and cultivated conditions. Fat accumulation in the leaves of the species studied was very low and its distribution was uneven across growing systems. For *P. ruderale*, the highest concentrations, with significant differences (*p*

= 0.0156), were found in wild cultivation conditions (0.66%). For *P. oleracea*, the fat in the plants from the cultivated environment (0.99%) was three times higher than that of its counterpart in wild conditions. No difference in fiber levels were observed between the species studied in the two conditions, and they ranged from 2.39 to 5.50%. Carbohydrate levels were higher in *P. ruderale*, with a maximum in the cultivated species (17.50%). The same trends occurred in *P. oleracea*, with a higher level of this parameter reached in the cultivated species (8.41%). The significant differences were more pronounced in *P. ruderale* ($p = 0.0008$). Energy values ranged from 28.0 to 78.75 kcal·100 g⁻¹ fresh weight, with higher levels in cultivated plants compared to wild plants. The coefficient of variety (CV) showed a wide discrepancy in the nutritional parameters such as crude fiber and carbohydrates, with 34.18% and 51.32%, respectively, in wild *P. ruderale*, demonstrating the excessive dispersion. In contrast, *P. oleracea* had the highest variability for nutritional parameters such as crude fiber (34.23%) and carbohydrates (10.22%) in cultivated species. The remaining parameters were less variable, with coefficients of variability oscillating between 0.03% and 5%. The nutritional parameters that showed the least variability value were protein (0.05%) and fat (0.10%).

Table 1. Nutritional and bioactive compounds: mean value \pm standard error for each parameter analyzed; coefficient of variability (CV) and probability (*p*-value) for the significance of differences between the environmental growing conditions of *P. ruderale* and *P. oleracea*.

		<i>P. ruderale</i>					<i>P. oleracea</i>				
		Wild	CV (%)	Cultivated	CV (%)	<i>p</i> -Value	Wild	CV (%)	Cultivated	CV (%)	<i>p</i> -Value
Nutritional value (g 100 g ⁻¹ fw)	Moisture	84.70 ^a \pm 0.43	0.51	76.64 ^b \pm 0.02	0.03	0.0000	88.39 ^a \pm 0.24	0.27	83.12 ^b \pm 1.09	1.31	0.0014
	Dry matter	15.30 ^b \pm 0.61	3.99	23.36 ^a \pm 0.17	0.73	0.0000	11.61 ^b \pm 0.37	3.19	16.88 ^a \pm 0.85	5.04	0.0014
	Ash	1.49 ^b \pm 0.02	0.28	2.33 ^a \pm 0.02	0.15	0.0020	2.62 ^b \pm 0.02	0.76	3.39 ^a \pm 0.06	1.77	0.0084
	Crude proteins	1.89 ^a \pm 0.00	0.05	1.19 ^b \pm 0.01	0.84	0.0002	1.56 \pm 0.00	0.06	1.49 \pm 0.00	0.07	0.1988
	Fat	0.66 ^a \pm 0.00	0.15	0.41 ^b \pm 0.01	2.44	0.0156	0.32 ^b \pm 0.00	0.31	0.99 ^a \pm 0.00	0.10	0.0000
	Crude fiber	5.50 \pm 1.88	34.18	3.57 \pm 0.66	18.64	0.1003	2.39 \pm 0.01	0.42	2.60 \pm 0.89	34.23	0.7178
	Carbohydrates	6.80 ^b \pm 3.49	51.32	17.55 ^a \pm 0.63	3.59	0.0008	4.72 ^b \pm 0.21	4.45	8.41 ^a \pm 0.90	10.22	0.0183
	Energy value (kcal 100 g ⁻¹)	40.70 \pm 1.16	2.85	78.65 \pm 0.22	0.28	-	28.00 \pm 0.07	0.25	48.51 \pm 0.30	0.62	-
Minerals (mg 100 g ⁻¹ fw)	Calcium	439.29 ^b \pm 119.86	27.29	687.49 ^a \pm 19.22	2.80	0.0240	186.67 ^a \pm 28.36	15.19	110.59 ^b \pm 16.02	14.49	0.0005
	Magnesium	131.15 ^b \pm 9.22	7.03	185.54 ^a \pm 21.10	11.37	0.0150	165.33 ^a \pm 9.50	5.75	91.68 ^b \pm 18.91	20.63	0.0000
	Potassium	515.28 \pm 49.22	9.55	477.75 \pm 40.99	8.58	0.3676	776.67 ^a \pm 171.50	22.08	271.91 ^b \pm 34.37	12.64	0.0000
	Phosphorus	56.48 ^b \pm 3.31	5.86	84.57 ^a \pm 3.96	4.68	0.0007	33.67 ^b \pm 0.93	2.76	58.73 ^a \pm 7.56	12.87	0.0000
	Sodium	7.19 \pm 1.21	16.83	8.21 \pm 1.60	19.49	0.4337	16.60 ^a \pm 0.03	0.18	0.81 ^b \pm 0.06	7.41	0.0000
	Iron	1.80 \pm 0.12	6.67	1.70 \pm 0.17	10.00	0.4495	1.80 \pm 0.18	10.00	1.35 \pm 0.18	13.33	0.1960
	Copper	0.17 ^b \pm 0.01	5.88	0.37 ^a \pm 0.01	2.70	0.0000	0.14 ^b \pm 0.01	7.14	0.36 ^a \pm 0.05	13.89	0.0000
	Zinc	0.51 ^a \pm 0.04	7.84	0.39 ^b \pm 0.03	7.69	0.0157	0.99 ^b \pm 0.06	6.06	1.08 ^a \pm 0.14	12.96	0.0011
Bioactive compounds	TAO (μ mol TE \cdot 100 g ⁻¹ fw)	4645.53 ^a \pm 36.2	0.78	4392.16 ^b \pm 27.0	0.62	0.0006	7315.0 ^a \pm 386.30	5.28	4609.98 ^b \pm 168.3	3.65	0.0004
	TPP (mg GAE \cdot 100 g ⁻¹ fw)	391.18 \pm 141.50	36.17	316.20 \pm 28.90	9.14	0.4152	318.93 ^a \pm 40.20	12.60	99.09 ^b \pm 35.50	35.83	0.0021
	Chl a (μ g \cdot g ⁻¹ fw)	10.45 ^a \pm 0.52	4.98	5.55 ^b \pm 0.53	9.55	0.0003	3.35 \pm 0.11	3.28	3.37 ^b \pm 0.33	9.79	0.9434
	Chl b (μ g \cdot g ⁻¹ fw)	3.55 ^a \pm 0.28	7.89	1.70 ^b \pm 0.15	8.82	0.0006	1.85 ^a \pm 0.15	8.11	1.30 ^b \pm 0.13	10.00	0.0002
	Total Chl (μ g \cdot g ⁻¹ fw)	14.00 ^a \pm 0.78	5.57	7.25 ^b \pm 0.67	9.24	0.0003	5.20 \pm 0.26	5.00	4.66 \pm 0.44	9.44	0.1450

Note: TAO: total antioxidants (TE = Trolox equivalent); TPP: total phenols (GAE = gallic acid equivalent); Chl: chlorophyll. Means followed by superscript letters (a–d) are significantly different (*p* < 0.05).

2.2. Mineral Composition

The mineral composition of studied plants was measured and is recorded in Table 1. The most abundant macromineral in the edible parts was potassium in wild conditions for *P. ruderale* (515.28 mg·100 g⁻¹ fw) and for *P. oleracea* (776.67 mg·100 g⁻¹ fw), with no significant difference between growing conditions ($p > 0.05$) for *P. ruderale* and a significant difference for *P. oleracea* ($p = 0.0000$). Other abundant macrominerals were calcium and magnesium, which showed significant differences between growth environments, especially in *P. oleracea* ($p = 0.0005$ and $p = 0.0000$, respectively). The most prominent micromineral was Fe, with the highest content (1.80 mg·100 g⁻¹ fw) in species from wild conditions for both plants, although there were no significant differences between growth conditions. The greatest mineral variability occurred for *P. ruderale* in calcium (27.29%) and potassium (9.55%) content when in wild conditions and sodium (19.49%) in cultivated conditions. In *P. oleracea*, calcium (15.19%) and potassium (22.08%) contents were the least stable for wild species, together with copper (7.14%). The comparison of the nutritional composition as a function of the growth environment of each species was carried out considering statistically significant effects (p -value), which are indicated in Table 1 with the letters as a super index for each parameter analyzed, except for the caloric value obtained by calculation. The nutritional parameters with $p = 0.0000$ are the ones that differ the most depending on the growing environment.

2.3. Non-Nutritional Compounds

The non-nutritional compounds (considered by some authors as bioactive components [32]) were quantified and are presented in Table 1. These were antioxidants, total phenolic content, and chlorophylls (*a*, *b*, and total). The amount of total antioxidants in the fresh wild samples of both plants stood out, ranging from 4645.53 to 7315.0 (μmol TE·100 g⁻¹ fw), with significant differences from the cultivated species. On the contrary, the total polyphenol content in *P. ruderale* was higher, although there was no significant difference between wild and cultivated species; the difference was significant in *P. oleracea* ($p = 0.0021$). However, the total phenols values presented the greatest variability among all the parameters studied, especially in wild *P. ruderale* (36.17%), followed by cultivated *P. oleracea* (35.83%). Chlorophyll content (*a*, *b*, and total) in fresh plant samples were higher in wild plants for both species, although significant differences between growing conditions were only present in *P. ruderale*, where the wild species was double the cultivated species for these parameters.

Similarly, Table 1 shows the significance value (p -value) for each of the bioactive compounds analyzed in the edible parts of the studied species, indicating the difference in their levels between wild and cultivated species, with the letters as a super index.

2.4. Polyphenols Profile

In total, ten polyphenolic compounds from two categories—hydroxycinnamic acids and flavonoids—were identified and are listed in Table 2. Five phenolic compounds were detected in both species under the two growing conditions. They were hydroxycinnamic acids: chlorogenic, caffeic and p -coumaric acids; and flavonoids: quercetin and kaempferol. Three components were detected in *P. ruderale* and corresponded to gallic acid, rutin, and luteolin. The most abundant phenolic compound was chlorogenic acid in *P. ruderale* for both growing conditions without a significant difference between them, followed by p -coumaric acid with a higher concentration in cultivated organic conditions.

Gallic acid was not detected in *P. oleracea* and other phenolic compounds were higher in cultivated than in wild conditions with significant differences. For flavonoids, six different compounds were identified in *P. ruderale* and four in *P. oleracea*, without rutin or luteolin. Quercetin and myricetin as major compounds as a major compounds *P. ruderale* were only detected in its cultivated species. Myricetin in *P. oleracea* was higher, being significantly increased in organic cultivation conditions, and apigenin was detected only in the cultivated species. Organic production systems were favorable for the synthesis of flavonoids in the two undervalued species. They also favored the synthesis of polyphenolic compounds in *P. oleracea*, but only p -coumaric acid synthesis in *P. ruderale*.

2.5. Other Chemicals

Other chemical components determined were nitrates and parameters related to the acidification of edible leaves (pH and total acidity); the are results presented in Figure 1. In both species, the nitrate concentration in fresh plant samples was higher in wild species than in cultivated species, with statistically significant differences ($p < 0.05$), showing a higher level in *P. ruderale* (777.3 mg NO₃⁻ kg⁻¹ fw) compared to *P. oleracea* (471.0 mg NO₃⁻ kg⁻¹ fw).

Table 2. Individual hydroxycinnamic acid and flavonoid content of *P. ruderale* and *P. oleracea* species

		<i>P. ruderale</i>				<i>P. oleracea</i>			
		Wild	Cultivated	<i>p</i> -Value	S	Wild	Cultivated	<i>p</i> -Value	S
Hydroxycinnamic acids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fw)	Gallic acid	1.13 \pm 0.07	0.41 \pm 0.07	0.0002	**	nd	nd	-	-
	Chlorogenic acid	798.45 \pm 36.52	780.08 \pm 0.85	0.4329	ns	6.75 \pm 1.09	11.38 \pm 2.64	0.0399	*
	Caffeic acid	3.93 \pm 0.16	1.67 \pm 0.03	0.0000	**	5.72 \pm 0.29	16.25 \pm 0.82	0.0000	**
	<i>p</i> -Coumaric acid	54.8 \pm 2.26	175.21 \pm 1.28	0.0000	**	4.21 \pm 0.17	17.99 \pm 1.19	0.0000	**
Flavonoids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fw)	Myricetin	nd	1.54 \pm 0.10	-	-	0.95 \pm 0.04	10.26 \pm 0.62	0.0000	**
	Rutin	14.73 \pm 0.70	15.43 \pm 0.46	0.2242	ns	nd	nd	-	-
	Quercetin	40.42 \pm 2.44	49.95 \pm 0.86	0.0031	*	0.21 \pm 0.03	0.47 \pm 0.01	0.0002	**
	Luteolin	3.98 \pm 0.22	7.3 \pm 0.13	0.0000	**	nd	nd	-	-
	Kaempferol	5.84 \pm 0.36	13.76 \pm 0.61	0.0000	**	0.09 \pm 0.01	0.30 \pm 0.04	0.0006	**
	Apigenin	2.48 \pm 0.36	3.59 \pm 0.09	0.0068	*	nd	0.96 \pm 0.06	-	-

Note: All data are expressed as means \pm standard error, $n = 3$; ns, * and, ** indicate that the F test is not significant or significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. Wild and organic cultivated growth conditions were compared by *t*-test; nd: not detected; S: significance

Similarly, the pH value was significantly higher in wild plants compared to cultivated plants, and its highest value was recorded in *P. oleracea* (6.6). Being inversely proportional, the titratable acidity showed opposite behavior in terms of pH, in which the cultivated samples presented higher values than the wild ones in terms of acidity. Total acidity did not show a significant difference between growing conditions in the case of *P. oleracea* (range 0.14–0.19%), while there was a significant difference in the case of *P. ruderale* (range 0.10–0.20%).

2.6. Correlations between Quality Parameters

The study of the correlations between nutritional, mineral, and bioactive compounds in the two plants studied showed different degrees of correlation between them. These correlations are presented for *P. ruderale* in Table 3 and for *P. oleracea* in Table 4. Since total chlorophyll is the sum of chlorophylls a and b, only its correlation is presented.

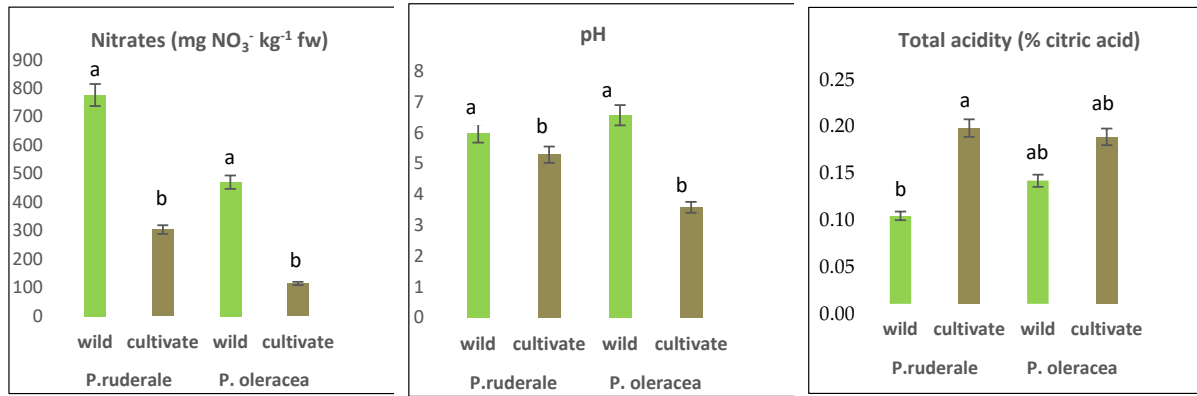


Figure 1. Nitrate concentrations, pH, and total acidity in fresh edible parts of *P. ruderale* and *P. oleracea*. The significant differences are visualized in letters. The letters a, b showed that difference exist, and ab showed that difference not exist.

Table 3. Pearson’s correlation coefficient among the nutritional, mineral, and bioactive compounds of edible parts of *P. ruderale*.

	CP	FT	CF	CH	Ca	Mg	K	P	Na	Fe	Cu	Zn	TAO	TPP	TCh
FT	0.879 *	1													
CF	0.685	0.798	1												
CH	-0.956 *	-0.908 *	-0.856 *	1											
Ca	-0.854 *	-0.740	-0.792	0.914 *	1										
Mg	-0.949 *	-0.836 *	-0.634	0.871 *	0.771	1									
K	0.465	0.298	0.625	-0.541	-0.439	-0.481	1								
P	-0.947 *	-0.938 *	-0.832 *	0.989 *	0.868 *	0.840 *	-0.461	1							
Na	-0.410	-0.054	-0.036	0.317	0.17	0.313	-0.615	0.298	1						
Fe	0.463	0.209	0.139	-0.335	-0.109	-0.540	0.721	-0.296	-0.814 *	1					
Cu	-0.983 *	-0.917 *	-0.715	0.967 *	0.834 *	0.888 *	-0.415	0.980 *	0.385	-0.386	1				
Zn	0.902 *	0.656	0.599	-0.870 *	-0.940 *	-0.837 *	0.446	-0.817 *	-0.395	0.321	-0.848 *	1			
TAO	0.950 *	0.928 *	0.812 *	-0.983 *	-0.835 *	-0.842 *	0.499	-0.996 *	-0.368	0.368	-0.983 *	0.802	1		
TPP	0.430	0.438	-0.137	-0.244	0.045	-0.391	-0.210	-0.342	-0.326	0.373	-0.475	0.124	0.386	1	
TCh	0.990 *	0.836 *	0.606	-0.929 *	-0.834 *	-0.908 *	0.402	-0.928 *	-0.464	0.446	-0.980 *	0.908 *	0.934 *	0.484	1

* indicates significant difference at $p < 0.05$. CP = crude protein; CF = crude fiber; CH = carbohydrates; TAO = total antioxidants; TPP = total polyphenols; TCh = total chlorophyll

Table 4. Pearson’s correlation coefficient among the nutritional, mineral, and bioactive compounds of edible parts of *P. oleracea*.

	CP	FT	CF	CH	Ca	Mg	K	P	Na	Fe	Cu	Zn	TAO	TPP	TCh
FT	-0.597	1													
CF	-0.739	0.174	1												
CH	-0.517	0.880 *	-0.048	1											
Ca	0.403	-0.884 *	-0.034	-0.808	1										
Mg	0.438	-0.942 *	0.001	-0.930 *	0.956 *	1									
K	0.419	-0.918 *	-0.166	-0.787	0.954 *	0.951 *	1								
P	-0.704	0.947 *	0.430	0.713	-0.764	-0.804	-0.852*	1							
Na	0.611	-0.999 *	-0.185	-0.889 *	0.895 *	0.949 *	0.924 *	-0.943 *	1						
Fe	0.359	-0.809	-0.100	-0.841 *	0.879 *	0.929*	0.927*	-0.684	0.823*	1					
Cu	-0.663	0.970 *	0.343	0.760	-0.793	-0.842 *	-0.870 *	0.995 *	-0.965 *	-0.709	1				
Zn	-0.803	0.467	0.739	0.143	-0.208	-0.178	-0.267	0.690	-0.460	-0.014	0.635	1			
TAO	0.634	-0.979 *	-0.262	-0.831 *	0.933 *	0.937 *	0.946 *	-0.941 *	0.983 *	0.823 *	-0.953 *	-0.500	1		
TPP	0.774	-0.963 *	-0.338	-0.853 *	0.771	0.850 *	0.810	-0.956 *	0.964 *	0.705	-0.965 *	-0.624	0.939 *	1	
TCh	-0.664	0.001	0.589	0.164	-0.071	-0.040	0.007	0.033	-0.036	-0.140	-0.0133	0.253	-0.106	-0.167	1

* indicates significant difference at $p < 0.05$. CP = crude protein; CF = crude fiber; CH = carbohydrates; TAO= total antioxidants; TPP= total polyphenols; TCh = total chlorophyll.

Among the nutrients of *P. ruderale*, crude protein has the highest number of correlations, with nine strong and significant relationships. Five of these relationships corresponded to a negative correlation with carbohydrates and minerals, and four to a positive correlation with fat, other minerals, and bioactive compounds. A strong positive relationship between crude protein and total chlorophyll was established ($r = 0.990$), which shows the strong relationship between the two parameters of absorbed nitrogen for this species. In contrast, crude protein from *P. oleracea* did not show any significantly strong relationship. Among the nutrients of *P. oleracea*, fat showed the highest number of correlations, also with nine strong relationships. Six of these relationships corresponded to a negative correlation with mainly minerals and bioactive compounds. The most complete negative relationship was observed between fat and sodium ($r = -0.999$).

Among minerals, copper showed the greatest number of strong relationships, while potassium and sodium showed no strong and significant relations in *P. ruderale*. In the case of *P. oleracea*, all the minerals showed a highly significant relationship except for Zn. Copper was the micromineral that presented the highest number of strong relationships in both species, such as the total antioxidants of the bioactive components. In general, the strongest negative relationships were observed in *P. ruderale*, while in *P. oleracea* positive relationships of similar magnitude prevailed.

2.7. Volatiles Profile Analysis

The volatile profile analysis revealed the presence of 11 chemical families. Figure 2 presents the relative percentage of each chemical family of volatile components detected in the fresh aerial parts of the plants studied. The majority of volatile families were: benzenoids, monoterpenoids, medium-chain aldehydes, fatty alcohols, sesquiterpenoids, unsaturated hydrocarbons, and ketones (Figure 2A). The minority volatile families were: organoheterocyclic compounds, pyrazines, organooxygen compounds, and alcohols (Figure 2B). The volatiles profile revealed that *P. ruderale* is rich in monoterpenoids (48.65–55.82%), and fatty alcohols are characteristic in *P. oleracea* species (16.21–54.18%).

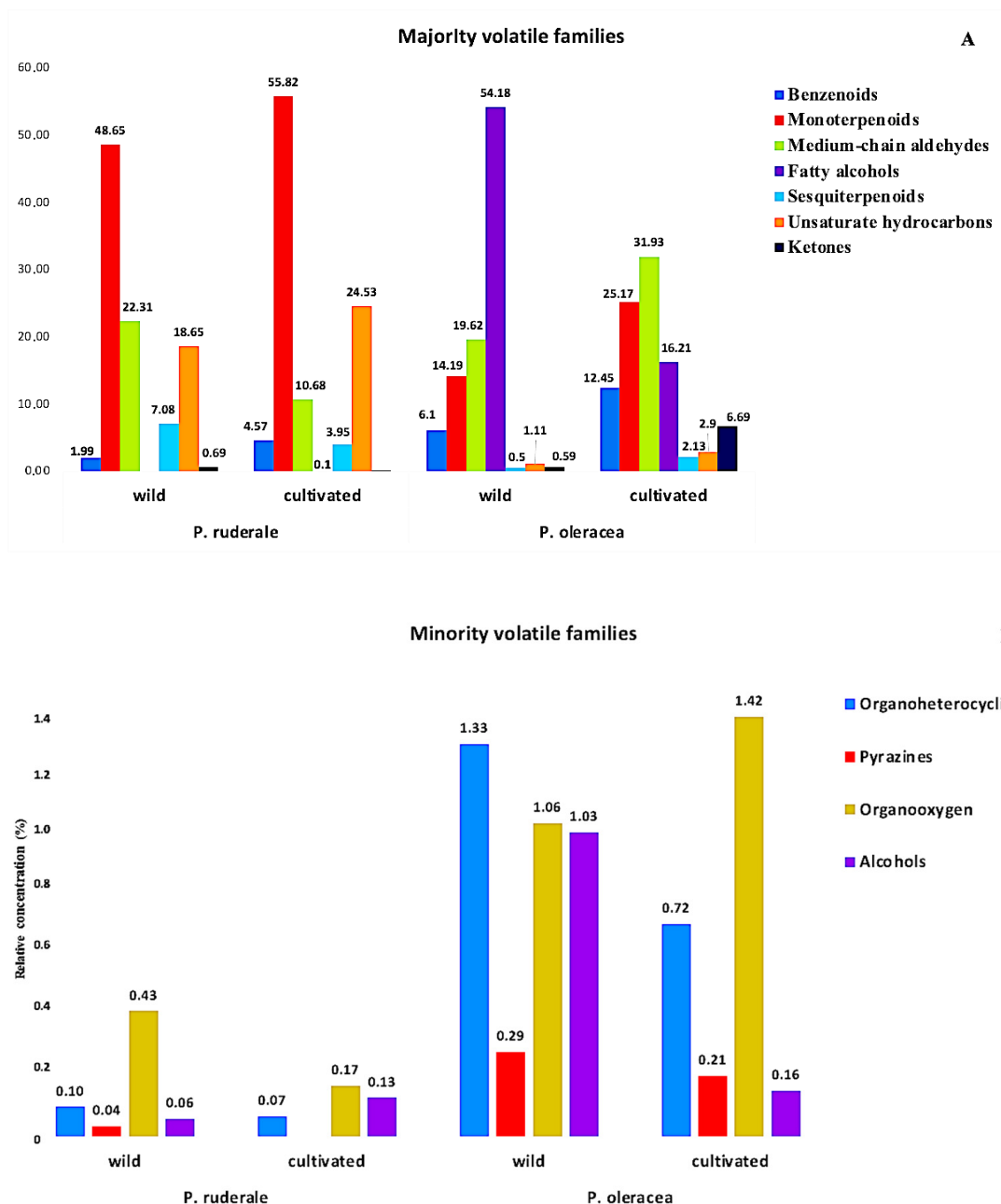


Figure 2. Relative content of the chemical families of volatiles in fresh leaves: (A) majority families of volatiles in wild and cultivated species of *P. ruderale* and *P. oleracea*; (B) minority families of volatiles in wild and organic cultivated species of *P. ruderale* and *P. oleracea*.

Monoterpenoids were present in both species, although they predominated in cultivated *P. ruderale* (55.82%), more than in its wild counterpart (48.65%). Unsaturated hydrocarbons were the second family present in both species and stood out in organic cultivated *P. ruderale* (24.53%). Another family present in both species and growing environments was medium-chain aldehydes, which was greatest in cultivated *P. oleracea* (31.93%). Concerning benzenoid content, *P. oleracea* stood out in both growing conditions:

wild (6.1%) and organic farming (12.45%). The highest amount of sesquiterpenoids was found in wild *P. ruderale* (7.08%) and cultivated *P. oleracea* stood out in ketones (6.69%). The family of fatty alcohols was characteristic only in *P. oleracea*, tripling the amount in wild conditions (54.18%) compared to cultivated conditions (12.45%). The families of smaller quantities are preponderant in *P. oleracea*, unlike *P. ruderale*, in both growing conditions. The organoheterocyclic family predominated, especially in the cultivated plants (1.33%).

The next families were organo-oxygens (1.42%) and alcohols, which emphasized were most prevalent in wild *P. oleracea* (1.03%). The pyrazine family was more pronounced in *P. oleracea*, where it reached higher amounts in the wild species (0.29%).

3. Discussion

As there is little demand for them and a lack of knowledge of their uses, some edible leaf species are undervalued and underused, which contributes to the loss of local agrobiodiversity. The two plants in this study are abundant in the Mediterranean spring-summer season. *P. ruderale* is an introduced species and *P. oleracea* an indigenous species. The characterization of nutritional, mineral, and bioactive constituents was carried out with the edible aerial parts of both plants. A bibliographic analysis in reference to these two species showed that their medicinal properties had been studied; on the contrary, there is little information about the nutritional quality and functional properties of these food plants, especially in the case of *P. ruderale*. Characterizing the quantitative properties (amount of nutrients) and qualitative properties (bioactive compounds present) could make an important contribution to the daily requirements of a balanced intake.

The most prominent nutritional parameters characterized were ash (total minerals), protein, fiber, and carbohydrates. Mostly, the nutritional levels of edible plants are related to their lifespan, which in turn depends on the species itself and humidity, temperature, and other environmental factors. The moisture content of the fresh samples of wild species was higher than that of the cultivated species, thus presenting a lower level of dry matter. In the research by Arias-Rico et al. [33], the average values of 85.3% for moisture in wild Mexican *P. ruderale* were described. The same species in this study presented similar water content in the same environmental conditions.

On the contrary, the extensively cultivated *P. ruderale* from Mexico, studied by Lara et al. [34], presented moisture values around 91.0%, which are probably due to the applied

irrigation. On the other hand, the species studied, *P. oleracea*, presented a lower water content than that found by [35], with a value of 92.9%, and that found by [36], with a value of 91.23% in a wild environment. The diversity of environmental and geoclimatic conditions may be the cause of the difference in physicochemical properties, among which is moisture. The results obtained in this study are similar to those of [37], carried out in leaves of Greek *P. oleracea* from Mediterranean conditions, with 88.16% moisture.

However, the result obtained is within the normal moisture content for green leafy vegetables and shows a very stable foliar parameter for both species. High water content tends to decrease the energy density of food, making it important in obesity diets, and should be considered a true nutrient that ought to be part of the diet [38]. The higher water content in wild species may be due to the greater sponginess of the soil and the greater retention of water available to the plant in these wild conditions.

In this study, the highest total minerals content was found in *P. oleracea*, both wild and cultivated. The results obtained were higher than those observed in [35] in research with $1.22 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ on the same wild species from Brazil. The obtained ash results of our study are in concordance with [37], which found 2.40% ash in Greek *P. oleracea*. On the contrary, the ash in *P. ruderale* was higher compared to that obtained by [34], with $0.9 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight in cultivated Mexican species, and lower than that obtained by [33], with $2.04 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ in wild Mexican species. This may be due to the growing conditions and edaphoclimatic characteristics of the respective geographical areas, especially in the case of *P. ruderale*, which is a plant native to South America. As ash is an index of the total mineral content in food, its levels in plants suggest the considerable availability of these constituents, which are considered essential for humans.

In the analysis of the protein obtained in this study, the wild species of *P. ruderale* showed a value very close to that found by [34] in *P. ruderale*, with a result of $1.8 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw; a lower content of this nutrient was found in its cultivated counterpart. Low content was found in *P. oleracea* in this study compared to that reported by [35], with $2.03 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw. Conclusively, both species studied demonstrated low protein content when compared to some conventional fresh species such as parsley ($3.0 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw), basil ($14.4 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw), or mint ($3.8 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw) according to [39]. As these are products of conventional agriculture, conditions of high nitrogen fertilizer content may be the cause of these differences.

The total lipid content in Mediterranean *P. oleracea* reported by [39] was a value of $6.90 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ db}$. The Greek *P. oleracea* had $0.23 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$ of total fat according to the study carried out by [36], and our results corroborate that this species is an abundant source of vegetable fat. The same study highlights that fat is rich in omega family fatty acids, which are beneficial for human health. If compared to the values reported by [35], which are $0.36 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$, our *P. oleracea* exceeded the fat content, especially in cultivated conditions. When comparing the results reported by [34] in fat content for *P. ruderale* ($0.3 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) on the fresh basis, it can be mentioned that the results obtained in this study from the fresh parts of cultivated species were superior, and even more so in wild species.

While the wild species of *P. ruderale* excelled in crude fiber content, surpassing the values ($2.17 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ dm}$) of Mediterranean *P. oleracea* reported by [40] and the content of Swiss chard ($1.0 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) by even more according to [39], the cultivated counterpart of *P. ruderale* and *P. oleracea* showed a lower level of crude fiber. Although the dietary fiber values found in this study are not high compared with the levels in parsley ($7.26 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), fiber intake is essential to improving the digestion of food and in the prevention of certain diseases such as diabetes, atherosclerosis, obesity, and constipation [41]. However, due to the crude fiber values found in this study, both species are an attractive source of this nutrient. It should be added that factors such as the degree of maturity and the botanical variety together with different culinary processes can modify the fiber intake, as well as the other nutrients. It would be useful to compare the nutritional parameters of the fresh plants studied with those cooked in various ways such as stewed or boiled.

The highest calculated energy value was recorded in cultivated *P. Ruderale*, placing it above all the samples studied, although when compared with the Greek *P. oleracea*, it was lower ($61.3 \text{ kcal} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$). This caloric level is due to the greater amount of carbohydrates and fiber in this plant; however, it corresponds to a moderate caloric level [38]. The study carried out by [42] highlights that the highest nutrient density/energy density ratios determine the nutritional quality index that can be useful in food selection, as it is scientifically proven that diets with lower energy density can help maintain a healthy weight and improve nutritional quality. Digestible carbohydrates are an additional source of energy in diets. However, a low-carbohydrate diet can reduce the risk of cardiovascular diseases [43], so *P. ruderale* and *P. oleracea* may be beneficial in this regard when their leaves and stems are consumed as fresh vegetables.

In relation to minerals, the levels of calcium, potassium, and magnesium stand out as macrominerals; and iron and zinc as microminerals, while sodium levels are minimal due to the ability of plants cell to keep sodium low in response to environmental conditions [44]. This predisposition makes vegetables a good choice for low-sodium diets. In *P. ruderale*, calcium is abundant, especially in its cultivated species, whereas in wild *P. oleracea*, the potassium content stands out. In both species, the amount of magnesium is also high. This may be due to geochemical conditions, such as soil composition and hydric state, among other factors. The most important route for the uptake of macro and microminerals in plants is through the roots; however, it has been observed that other tissues can also absorb minerals. The size of the metal ions plays a predominant role in this process. The ability to accumulate minerals is not a common characteristic of plants; rather, it is an evolutionary response. In addition, magnesium is present as a constituent of the chlorophyll molecules, from which it is released by gastric and intestinal secretions when the leaves are consumed. Its consumption is necessary to maintaining a healthy body since, together with zinc, it participates in many biological processes. Moreover, both minerals are essential in eye health. Complementarily, zinc is an essential trace element and must be provided on a regular basis as part of a healthy diet; it participates in the modulation of the immune system, is involved in various cell metabolism functions, and plays an important role in maintaining the concentration of tocopherols in plants [45]. Both species of *P. oleracea* are projected as good sources of zinc, similar to spinach, which contains $0.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. The iron found in the study is uniform in cultivated and wild species. Iron is an essential microelement in food. According to [39], two conventional vegetables, watercress and spinach, are important sources of this element and with values of 1.30 and $2.27 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw, respectively, and the plants studied can compete with these. Furthermore, the iron content in the plants in this research was similar to the value found in Argentinian *P. oleracea* ($1.99 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw) [46] and was surpassed by that of Brazilian *P. oleracea* ($10.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fw) [36], both in wild growing conditions. Although our *P. oleracea* appears to be a species with promising levels of Fe and Zn, and *P. ruderale* with Fe and Ca, the interaction of these minerals with the crude fiber and total polyphenols present, should be considered since these factors negatively influence mineral bioavailability and may require more detailed studies. On the contrary, the micromineral copper positively intervenes in iron absorption. A contribution of microminerals such as Fe, Cu, and Zn is necessary for the biosynthesis of antioxidant

enzymes that participate in the body's oxide-reduction reactions [37,47]. In general, wild greens contribute more to the dietary intake of minerals than wild fruits [48].

The DPPH assay is a preliminary test to study the antioxidant effect of the plants. In the research carried out by [49] on *P. oleracea* leaves grown in Egypt, antioxidant activity was determined by the DPPH method with 147.78 ($\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ dm}$). This result contrasts with those obtained in this study for *P. oleracea*, which significantly exceeding the antioxidant content. In a recent study by [33], the antioxidant values were reported in *P. oleracea* (2378.2 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ dm}$) and *P. ruderale* (6355.0 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ dm}$), as raw materials obtained by the same method, with a difference in the preparation of samples and reagents. The antioxidant levels found in *P. ruderale* exceed those found in our study and do not reach those of *P. oleracea*, which may be due to the fact that the results are expressed as dry material. The antioxidant levels suggest *P. oleracea* as a very promising product. Similarly, the antioxidant content of *P. ruderale* leaves stands out, whose results, expressed on a fresh weight basis (fw), were not able to be contrasted due to the lack of publications. The review article by Marquez et al. [50] corroborates that most articles on *P. ruderale* have been published in the areas of biological and pharmacological science in the last 39 years.

It can be highlighted that the results of this study distinguish the species *P. oleracea* and *P. ruderale*, characteristic of the Mediterranean spring-summer season, as powerful sources of antioxidants, which, in general, reverse the damage caused by oxidative stress and prevent the appearance of pathologies that involve it. According to the database [47], vegetables with similar values in the content of total antioxidants are fresh arugula, with 5998 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$, and fresh spinach, with 5432 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$. Much higher is fresh parsley, with 28.865 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$. The results were determined by the ORAC test.

Total phenolic content had been reported to be associated with total antioxidant activity in both studied species. The higher recorded content was for wild samples. The research in [51] established the variation of total phenols of the Malaysian cultivars of *P. oleracea* in the range of 127 ± 13 to 478 ± 45 (mg GAE $\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$). The values found in our study for wild *P. oleracea* are close to the levels reported but, on the contrary, cultivated species presented lower values. The correlation analysis between components confirms that the richness of antioxidants is strongly related to the presence of total polyphenols in *P. oleracea*, although its wild species far exceeds that cultivated by organic techniques.

Additionally, for *P. ruderale* there is no strong correlation between antioxidant and phenolic compounds, suggesting the presence of other antioxidant components such as anthocyanins, vitamins, or carotenoids, which requires further investigation.

Phenolic compounds are present in plants and take part in their defense, while for humans they have many benefits [52]. In the current study, the content of phenolic compounds showed significant variability between growing systems and species. A study conducted by [53] asserted that phenolic content fluctuated between different growing conditions. As indicated by the authors of [54], the amount of hydroxycinnamic acids depend on the vegetative progress of the plants, and its highest content is found in developing leaves that have greater metabolic activity. This means that in *P. oleracea*, in our study, gallic acid, rutin, and luteolin were not detected, and apigenin was only detected in organic cultivation conditions, probably collected in an optimal state of development, possibly due to genetic factors, but also due to a very mature state of the plant. In contrast, in other work, quercetin and kaempferol were not found in Turkish *P. oleracea* [55], so the plant's age may be important for the synthesis of these compounds. Ferulic and rosmarinic acid were not found in our samples of Malaysian *P. oleracea*, in contrast to [51]. Chlorogenic acid was the dominant hydroxycinnamic acid in *P. ruderale*. The polyphenolic profile study carried out is in line with the correlations made previously with the content of total phenolic content (TPP). In *P. oleracea*, antioxidants and phenols have a strong relationship despite the absence of some polyphenolic compounds in its profile, especially flavonoids. In contrast, *P. ruderale*, whose polyphenolic profile showed a greater amount of compounds, especially flavonoids, provided moderate antioxidant power. This indicates that this species has other bioactive compounds such as antioxidants that could be the subject of future research.

In the research conducted by Udeagha et al. [56], they assert that chlorophyll is involved in the synthesis of cell growth molecules, making it a key indicator of the physical state of the plant, reflecting its photosynthetic capacity, productivity, and stress level, among other aspects. Considering that, due to the amount of total chlorophyll, spinach is the raw material par excellence for the industrial extraction of chlorophyll, with an average of 16 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. It was observed that the study species showed a moderate level of chlorophyll in cultivated *P. ruderale*, and low levels in both *P. oleracea* growing systems. Wild *P. ruderale* showed a considerable level of total chlorophyll. On the other hand, chlorophyll values as technical-scientific information allows the identification of superior genotypes in the genetic improvement process to improve productivity. In addition, according to [57], chlorophyll is

a bioactive component that reduces high levels of cholesterol and triglycerides and can improve health in a balanced diet with the intake of green leafy vegetables such as the undervalued species of this study. These species can also add color to gastronomic dishes due to their organoleptic qualities. Furthermore, natural chlorophylls have an effect on inflammation and wound healing and prevent lipid peroxidation [58].

The nitrate content determined in this study was shown to be higher in wild species than in their cultivated counterparts. According to [59], regarding the classification of vegetables in the content of nitrates, *P. ruderale* belongs to the medium category, with a nitrate range of 500–1000 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ fw, and *P. oleracea* to the low category (200–500 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ fw). Nitrates are naturally occurring compounds in the environment due to the nitrogen cycle, but they can be altered by various agricultural practices. Nitrate quantification is used to diagnose the nutritional status of plants, particularly crop plants, as they accumulate nitrates in their chloroplasts. Nitrate itself is relatively toxic. Its toxicity is determined by its conversion to nitrite, which can be influenced by agronomic factors, and sometimes by processing or cooking techniques [60]. To comply with the hygienic-sanitary characteristics, the WHO/FAO acceptable daily intake is 3.7 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ of body weight, expressed as nitrate ions. However, some studies report that nitrate or diets moderately rich in this chemical component can induce a reduction in pressure [61,62]. Principally, nitrate concentration in vegetables varies according to climatic conditions and agronomic crop management, as well as post-harvest storage conditions [63,64]. Nitrates accumulate in plant vacuoles depending on the fraction absorbed from the soil. Subsequently, this compound is reduced to ammoniacal and amino forms for the formation of protein. The reduction process is conditioned by two enzymes that require metal cofactors such as iron and molybdenum. It is possible that organic cultivation conditions favor a balance of factors that cause a reduction, decreasing the concentration of nitrates in the edible leaves [65]. There is a clear need for future studies in antinutritional compounds to ensure the complete safety of these undervalued plants.

The pH values of the aerial parts of wild species were higher than in their cultivated relatives. At the same time, the highest total acidity was found in the cultivated species. Both parameters indicate the presence of organic acids in the samples. The influence of pH on the assimilation of macro and micronutrients may be the most important factor, and at the same time, the pH and the total titratable acidity influence its organoleptic properties, giving a specific acid taste to the plants. Variations in these parameters can be attributed to

environmental and cultivation conditions. In this sense, wild growing conditions can generate more palatable species from an organoleptic point of view by balancing their acids.

The statistical treatments applied indicated low variability in most of the nutritional values in *P. ruderale* (wild and organically cultivated). The small number of samples influenced the width of confidence intervals for bioactive compounds. The p-value corroborated significant differences in the parameters studied according to the growing conditions. The study of correlations between nutritional and bioactive compounds as quality parameters showed different degrees of correlation between them. In *P. ruderale*, highly significant negative relationships prevailed, while in *P. oleracea*, the significant relationships were mostly positive. The absence of strong relationships between Zn (*P. oleracea*), K, and Na (*P. ruderale*) may be due to species-specific biosynthesis/transport processes that are influenced by geoclimatic conditions during growth depending on the harvest period, as suggested by [58,66]. The complete relationship between Na and P (*P. oleracea*) can be explained by the fact that the studied species are halophyte plants [67]. The correlations of different degrees found between compounds in both plants were weak, especially for total chlorophyll (*P. oleracea*). This might be due to common factors in the secondary metabolite's synthesis pathway, and in the case of chlorophyll, there is a dependence on foliar anatomy [68].

The analysis of the volatiles of fresh leaves showed specificity, and each species could be differentiated from others based on its aroma profile, which is strongly influenced by volatile components. The volatile analysis showed that monoterpenoids and unsaturated hydrocarbons were the most common volatile families in *P. ruderale*, and benzenoids were the most common in *P. oleracea*. Terpenoid compounds such as aldehydes and terpenes possibly contribute to antioxidant properties [69]. Under abiotic and biotic stress conditions, the production of benzenoid family metabolites is intensified; the same influence is exerted by heat stress, which intensifies the biosynthesis of benzenoids [70]. Fatty alcohols were found to be distinctive in *P. oleracea*. Most alcohols displayed an unmistakable fragrance of green scents and contributed to the perception of grassiness [71]. Medium-chain aldehydes were found to be homogeneous in the cultivated and wild species of both plants. The components of this family, especially (E)-2-hexenal, are known as green leaf aldehydes, which provide a characteristic scent. In addition, this constituent may be involved in the abiotic stress response [72]. Sesquiterpenoids predominated in wild *P. ruderale* and ketones

predominated in cultivated *P. oleracea*. Sesquiterpenoids may play a significant role in human health due to their potential in preventing cardiovascular disease and cancer [73].

Among the minority families, organoheterocyclic and organooxygen compounds stood out in *P. oleracea*, as well as the family of alcohols, whose compounds are identified as major predictors for the freshness index [74]. The pyrazine family predominated in *P. oleracea* under both growing conditions. Pyrazines are considered a key family in intensity of smell in nature [75]. The volatiles analyzed showed a difference in the relative abundance of the majority and minority chemical groups found in this study. Aroma properties depend on the combination of volatiles and their concentrations and can be an index of quality.

4. Materials and Methods

4.1. Plants Materials

P. oleracea (purslane) is an annual herb that has become naturalized throughout the world; it is considered a weed in some regions. The stems, leaves, and flowers are edible. It has a slightly acidic and salty taste and can be eaten fresh in salad or cooked as a leafy vegetable [76]. *P. ruderale* is an annual herb native to Central and South America but is adapted to different edaphoclimatic conditions. It is known as “rupay wachi” and “quirquiña”, among other common names [77]. This species is a wild herb with a strong and distinctive flavor; the leaves and tender stems are commonly used for salads and spicy sauces [78]. In addition, both plants have some phytopharmaceutical properties, provided by their biologically active compounds.

The species were collected between June–July 2020 from two environments along the Valencian coast (Spain): (1) organic farming and (2) wild conditions. Organic cultivation methods were carried out on the Unió de Llauradors i Ramaders farm, which was organic certified 18 years ago. The area is located within 39°45'13" North and 0°12'21" West, with SCI code ES0000148 [79]. The edible aerial parts such as leaves and small tender stems were separated and used for extractions and analytical quantification of bioactive compounds; methanolic extracts were prepared to determine total antioxidants, and acetone extracts to determine the chlorophyll content, as well as an aqueous extract for total polyphenols and other chemical constituents such as nitrates, pH, and total acidity. The rest of the determinations were performed with plant matter dried to a constant weight in an autoclave (J.P. Selecta) at 70 ± 0.1 °C. The dry vegetable fraction was ground with a grinding mill (Retsch KG-5657 Haan, Remscheid, Germany) to obtain a fine powder (250 μm) and

stored in high-density polyethylene bottles under refrigeration conditions at 4 °C for subsequent analysis (nutritional and mineral compositions).

4.2. Chemical Reagents

Solutions of 80% (v/v) methanol and 80% (v/v) acetone were prepared from analytical grade reagents. The chemicals were sodium carbonate, citric acid, boric acid, sulfuric acid, hydrochloric acid, phosphoric acid, lanthanum (III) chloride, and sodium hydroxide (Scharlau). Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8, -tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid), 2,2'-azobis-2-methyl-propanimidamide, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), Folin-Ciocalteu reagent (FCR), and gallic acid were purchased from Sigma-Aldrich Co (Taufkirchen, Germany). Water was prepared using a Water Still Aquatron A4000 distiller. Standard references for phenolic compounds were from Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MI, USA.

4.3. Nutritional Characteristics

Prior to sample analysis, all analytical methods were optimized and fine-tuned for the specific analysis of this type of matrix. Three replicates were performed for each analysis.

4.3.1. Proximate Composition

Analysis was carried out by official methods [80]: moisture (AOAC 984.25), crude protein (AOAC 984.13), fat (AOAC 983.23), crude fiber (AOAC 991.43), and ash (AOAC 923.03). The carbohydrate content was calculated by difference. The results were expressed in g·100 g⁻¹ fresh weight (fw).

4.3.2. Mineral Composition

The samples were subjected to digestion in accordance with method AOAC 985.35. The samples were calcined in a Carbolite CWF 1100 chamber furnace at 550 °C, and the ashes were dissolved with concentrated HCl until a 2% HCl solution was obtained. Calibration curves were established using working standards for each element. The analytical curves were obtained with a linear response for the selected concentration ranges. Mineral analysis was performed by atomic absorption spectroscopy (AAS) in a THERMO elemental AA series Spectrometer (spectrophotometer), v.11.03 software, and hollow cathode lamps for each element, except for phosphorus, which was analyzed by colorimetry [80].

4.4. Non-Nutritional Compounds

To determine total antioxidants, the 0.8 g of fresh leaves and small tender stems were mixing in 5 mL of methanol solution (80% v/v) and stirred for 1 h at room temperature by an SO1 orbital shaker (Bibby Stuart Scientific, Staffordshire, UK). Then, reagent was added to measure the effects of the extract on the DPPH radical. The calibration curve was obtained with the Trolox standard. The summary process and resulting reaction are shown in Figure 3a.

To determine the total phenolic content, the aerial parts of fresh plants were crushed with water at a ratio of 2:1 (solvent: plant) and immediately reacted with FCR. The calibration curve was obtained with the gallic acid standard. The summary of the process and the reaction are show in Figure 3b.

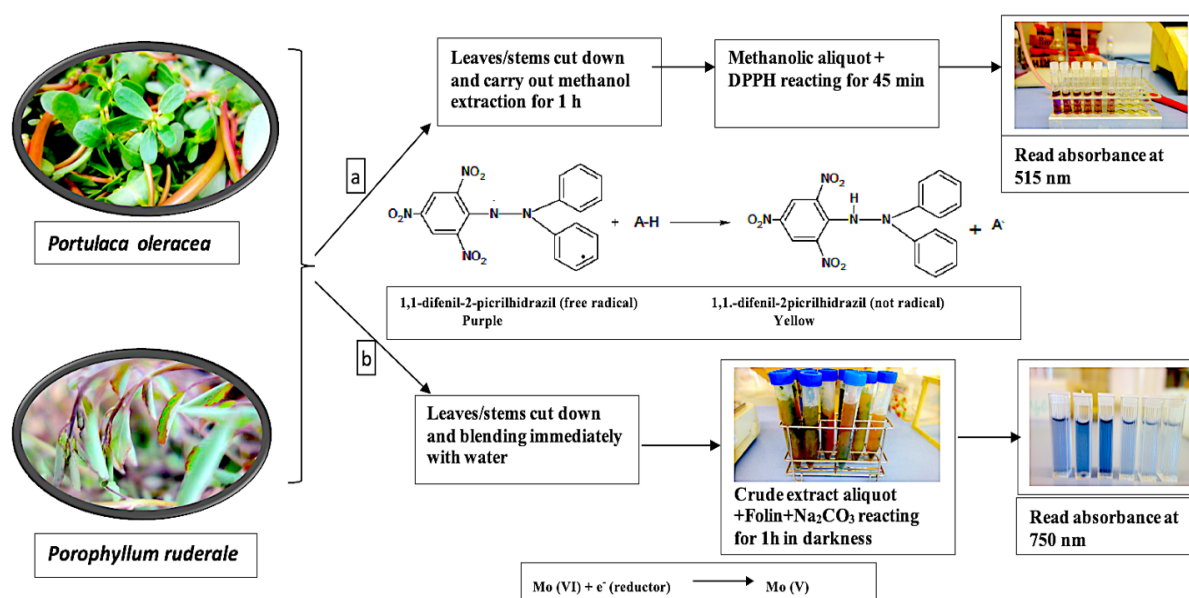


Figure 3. Reaction process in the quantification of bioactive constituents: (a) total antioxidants with the reaction of the DPPH radical; (b) total polyphenols with electron transfer reaction with the FCR.

Prior to the analysis of the samples, all analytical methods were optimized and tuned for the specific analysis of this type of matrix. Table 5 shows the values of linearity, calibration curve, linear range, and retention time (Tr) for the main non-nutritional compounds.

Table 5. Linearity, calibration curve, linear range, and retention time for main non-nutritional compounds.

Compound	Calibration Curve	Linearity	Linear Range	Tr (min)
AOT	$y = -0.1347x + 1.0678$	$R^2 = 0.9783$	0.3–1.3 μM	-
TPP	$y = 0.0018x + 0.0182$	$R^2 = 0.9898$	0–400 ppm	-
Gallic acid	$y = 25.36x + 21.562$	$R^2 = 0.9992$	2–350 ppm	6.39

Chlorogenic acid	$y = 25.567x + 32.541$	$R^2 = 0.9998$	2–300 ppm	16.63
Caffeic acid	$y = 45.356x + 37.156$	$R^2 = 0.9990$	1.72–220 ppm	17.74
<i>p</i> -Coumaric acid	$y = 60.223x + 228.38$	$R^2 = 0.9992$	3–440 ppm	21.26
Myricetin	$y = 41.599x + 10.346$	$R^2 = 0.9987$	0.75–48 ppm	6.26
Ruine	$y = 20.071x + 5.5868$	$R^2 = 0.9984$	1.4–94 ppm	7.02
Quercetin	$y = 44.696x + 26.656$	$R^2 = 0.9984$	1.6–110 ppm	8.16
Luteolin	$y = 21.996x - 10.039$	$R^2 = 0.9997$	1.5–98 ppm	8.59
Kaempferol	$y = 51.019x + 23.177$	$R^2 = 0.9986$	1.5–97 ppm	9.13
Apigenin	$y = 31.051x + 18.277$	$R^2 = 0.9985$	1.5–95 ppm	9.38

4.4.1. Total Antioxidants

The 25 ppm DPPH solution was prepared in 80% methanol (v/v) and 3.9 mL of this solution was mixed with 0.1 mL of methanolic extract aliquot to initiate the reaction. After incubation for 45 min at 23 °C, the progress of the reaction was monitored at 515 nm [81]. Trolox was used as the standard for analysis. The results were expressed as $\mu\text{mol Trolox equivalents per } 100 \text{ g of fresh weight } (\mu\text{mol TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw})$.

4.4.2. Total Phenolic Content

The optimized Folin–Ciocalteu method [82] consisted of preparing a series of spectrophotometric cuvettes with 50 μL of aqueous extract aliquot. To this was added 0.5 mL of the FCR (previously diluted with 1:10 v/v water). Before 8 min, 0.5 mL of 6% (w/v) Na_2CO_3 solution was added. After the reaction, the absorbance at 750 nm was measured by spectrophotometer (JENWAY 6715/UV-Vis). The results are expressed as mg gallic acid equivalents per 100 g of fresh weight (mg GAE $\cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$).

4.4.3. Polyphenols Profile by HPLC

The sample (2 g dry leaves) was subjected to direct solvent extraction (15 mL) of 75% ethanol (v/v) with agitation on an orbital shaker for 2 h, followed by centrifugation and filtration. The extracted phenolic acid and flavonoids were individually quantified and separated through an HPLC system (HPLC, Agilent 1220 Infinity LC) equipped with a UV detector. The analytical column was a Brisa C18 (150 \times 4.6 mm, particle size = 3 μm , Teknokroma). The mobile phase contained water with 0.1% formic acid (A) and methanol with 0.1% formic acid. The temperature was set at 30 °C and the sample injection volume was 10 μL . The chromatography was performed under the following conditions:

Hydroxycinnamic acids: flow rate 1.0 mL/min flow rate; gradient program: 0–8 min 7% B, 8–13 min 30% B, 13–48 min 66% B, 48–50 min 66% B, 50–56 min 100% B, 56–65 min 7% B. Polyphenols were detected by monitoring the absorbance at 280/320 nm [83].

Flavonoids: flow rate 0.8 mL/min flow rate; gradient program: 0–10 min 40% B, 10–15 min 100% B, 15–20 min 40% B, 20–25 min 40% B at absorbance 360 nm [84]. The results were expressed as $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight.

4.4.4. Chlorophylls: *a*, *b*, Total

The extraction of chlorophylls was carried out by adapting the method proposed in [85]. The ground aerial parts were suspended in pigment extraction solvent (80% acetone *v/v*), filtered through filter paper to avoid turbidity, and brought up to a volume of 50 mL with the same extraction solvent. Solutions were measured spectrophotometrically at 645 nm, 653 nm, and 663 nm. The results were expressed as $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fw on a per sample basis.

4.5. Other Chemicals: Nitrates, Ph and Total Acidity

Aqueous extracts from fresh aerial parts were prepared in a 1:2 (*w/v*) ratio at a temperature lower than 30 °C by mechanical grinding. Nitrates ($\text{mg NO}_3\cdot\text{kg}^{-1}$ fw) and pH were measured directly by pH and ION-Meter GLP 22+ (CRISON) equipment and with the respective electrodes, after calibrating each electrode. The total acidity was determined potentiometrically with 0.05 N NaOH solution, and the results are expressed as a percentage of citric acid.

4.6. Volatiles Profile Analysis

Dynamic headspace sampling was used to analyze the volatiles present in fresh leaf and stem samples. Extraction of volatile compounds was carried out using the HS-SPME technique according to [86]. The analysis was performed by a 6890 N gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS) networked to a 5973 inert mass selective detector (Agilent Technologies). The analytical conditions were as follows: stationary phase HP-5MS J&W silica capillary column (30 m \times 0.251 mm i.d. \times 0.25 μm thickness film; 5% phenyl-95% methylpolysiloxane); helium carrier gas at a constant flow of 1 mL min^{-1} ; transfer line maintained at 220 °C. Initial temperature (40 °C) for 1 min, Ramp 1 from 5 °C min^{-1} up to 200 °C for 1 min, and Ramp 2 from 15 °C min^{-1} up to 250 °C for 3 min. The electron impact mode with ionization energy of 70 eV (source temperature 225 °C) was used for detection by the mass spectrometer, and the acquisition was performed in scan mode (mass range *m/z* 35–350 amu).

4.7. Statistical Analysis

Datasets from wild and cultivated species were processed using Statgraphics Plus version 5.1 (Manugistics Inc., Rockville, MD, USA) for means, standard errors, and correlations. The analysis of variance (multivariate ANOVA; at a significant level of $p < 0.05$) was performed according to a completely randomized design with three replicates. Differences between groups were identified with multiple comparisons of means (Tukey contrast), and the bivariate statistical method was applied to determine the relationship between the various qualitative characteristics of the plants studied. The independent variables defined the qualitative parameters, and the dependent variables were the species and the growing conditions. Pearson linear correlation coefficients (r) between traits were calculated from regression analyses between pairs of traits. The confidence limits used in this study were based on 95% ($p < 0.05$), and in polyphenol individuals, on 99% ($p < 0.01$).

5. Conclusions

The results of this study provide a basis for the characterization of nutritional, organoleptic, and non-nutritional compounds of *P. ruderale* and *P. oleracea*. These undervalued plants have significant crude fiber, carbohydrate, mineral, and chlorophyll content, and are a good source of antioxidants and phenolic compounds. Studies of polyphenolic and volatile profiles show that both species possess bioactive compounds with functional properties. These preliminary data reveal that these plants are a promising source of new natural antioxidants, as well as possible material for new improved varieties. Their production potential can boost local economies and ensure ecological security, as the species studied grow in diverse habitat conditions. In addition, their nutritional quality and promising amount of bioactive components will greatly contribute to knowledge about these undervalued plants that, due to their nutrient-dense characteristics and low energy content, could be part of health diets.

References

1. Waldron, A.; Miller, D.; Redding, D.; Mooers, A.; Kuhn, T.; Nibbelink, N.; Roberts, T.; Tobias, J.; Gittleman, J. Reductions in global biodiversity loss predicted from conservation spending. *Nature* **2017**, *551*, 364–367. <https://doi.org/10.1038/nature24295>.
2. Spina, M.; Cuccioloni, M.; Sparapani, L.; Acciarri, S.; Eleuteri, A.M.; Fioretti, E.; Angeletti, M. Comparative evaluation of flavonoid content in assessing quality of wild and cultivated vegetables for human consumption. *J. Sci. Food Agric.* **2008**, *88*, 294–304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3089>.
3. Chatzopoulou, E.; Caroch, M.; Di Gioia, F.; Petropoulos, S.A. The beneficial health effects of vegetables and wild edible greens: The case of the mediterranean diet and its sustainability. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 9144. <https://doi.org/10.3390/app10249144>.
4. Khoury, C.; Bjorkman, A.; Dempewolf, H.; Ramirez-Villegas, J.; Guarino, L.; Jarvis, A.; Rieseberg, L.; Struik, P. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2014**, *111*, 4001–4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>.
5. Caetano, C.M.; Peña, C.R.D.; Maigual, J.J.L.; Vasquez, D.L.N.; Nunes, D.C.; Pazdiora, B.R. Mejoramiento participativo: Herramienta para la conservación de cultivos subutilizados y olvidados. *Acta Agron.* **2015**, *64*, 307–327. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3sup.50550>.
6. Willett, W.; Rockström, J.; Loken, B.; Springmann, M.; Lang, T.; Vermeulen, S.; Garnett, T.; Tilman, D.; DeClerck, F.; Wood, A.; et al. Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* **2019**, *393*, 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4).
7. Clapp, J.; Moseley, W.G. This food crisis is different: COVID-19 and the fragility of the neoliberal food security order. *J. Peasant Stud.* **2020**, *47*, 1393–1417. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1823838>.
8. Rizou, M.; Galanakis, I.; Aldawoud, T.; Galanakis, C. Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. *Trends Food Sci. Technol.* **2020**, *102*, 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.008>.
9. Pardo-de-Santayana, M.; Tardio, J.; Blanco, E.; Carvalho, A.M.; Lastra, J.J.; San Miguel, E.; Morales, R. Traditional knowledge of wild edible plants used in the northwest of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal): A comparative study. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* **2007**, *3*, 27. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-27>.
10. Carvalho, A.M.; Barata, A.M. The Consumption of Wild Edible Plants. In *Wild Plants, Mushrooms and Nuts: Functional Food Properties and Applications*; Ferreira, I.C.F.R., Morales, P., Barros, L., Eds.; John Wiley & Sons: Chichester, UK; Hoboken, NJ, USA, 2017; pp. 159–198.
11. Beilin, K.O. Messages from the Underground: Interspecies Memory in Times of the Climate Change. *452 °F. Rev. Teoría Lit. Lit. Comp.* **2019**, *21*, 35–54.
12. de Aquino, D.R.M.; Flores, M.D.S.A. Plantas alimentícias não convencionais em Belém, Pará: Conhecimento, usos e segurança alimentar. *Novos Cad. NAEA* **2021**, *24*, 73–97.
13. Disciglio, G.; Tarantino, A.; Frabboni, L.; Gagliardi, A.; Giuliani, M.M.; Tarantino, E.; Gatta, G. Qualitative characterization of cultivated and wild edible plants: Mineral elements, phenols content and antioxidant capacity. *Italian J. Agron.* **2017**, *12*, 383–394. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1036>.
14. Bello, O.M.; Jagaba, S.M.; Bello, O.E.; Ogbesejana, A.B.; Dada, O.; Adetunji, C.C.; Abubakar, S.M. Phytochemistry, pharmacology and perceived health uses of non-cultivated vegetable *Cyphostemma adenocaula* (Steud. ex A. Rich.) Desc. ex Wild and R.B. Drumm: A review. *Sci. Afr.* **2019**, *2*, e00053. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00053>.
15. Crescente, G.; Piccolella, S.; Esposito, A.; Scognamiglio, M.; Fiorentino, A.; Pacifico, S. Chemical composition and nutraceutical properties of hempseed: An ancient food with actual functional value. *Phytochem. Rev.* **2018**, *17*, 733–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9556-2>.
16. Blanco-Salas, J.; Gutierrez-Garcia, L.; Labrador-Moreno, J.; Ruiz-Tellez, T. Wild Plants Potentially Used in Human Food in the Protected Area “Sierra Grande de Hornachos” of Extremadura (Spain). *Sustainability* **2019**, *11*, 456. <https://doi.org/10.3390/su11020456>.
17. Minde, J.; Venkataramana, P.; Matemu, A. Dolichos Lablab-an underutilized crop with futurepotentials for food and nutrition security: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1775173>.
18. Omotayo, A.O.; Ijatuyi, E.J.; Ogunniyi, A.I.; Aremu, A.O. Exploring the Resource Value of Transvaal Red MilkWood (*Mimusops zeyheri*) for Food Security and Sustainability: An Appraisal of Existing Evidence. *Plants* **2020**, *9*, 1486. <https://doi.org/10.3390/plants9111486>.

19. Pasta, S.; La Rosa, A.; Garfi, G.; Marceno, C.; Gristina, A.S.; Carimi, F.; Guarino, R. An updated checklist of the Sicilian native edible plants: Preserving the traditional ecological knowledge of century-old agro-pastoral landscapes. *Front. Plant Sci.* **2020**, *11*, 308. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00388>.
20. Torija-Isasa, M.; Matallana-González, M. A Historical Perspective of Wild Plant Foods in the Mediterranean Area. In *Mediterranean Wild Edible Plants*; Sánchez-Mata, M., Tardío, J., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7>.
21. Kregiel, D.; Pawlikowska, E.; Antolak, H. *Urtica* spp.: Ordinary Plants with Extraordinary Properties. *Molecules* **2018**, *23*, 1664. <https://doi.org/10.3390/molecules23071664>.
22. García-Herrera, P.; Morales, P.; Cámara, M.; Fernández-Ruiz, V.; Tardío, J.; Sánchez-Mata, M.C. Nutritional and phytochemical composition of Mediterranean wild vegetables after culinary treatment. *Foods* **2020**, *9*, 1761. <https://doi.org/10.3390/foods9121761>.
23. Arranz, S.; Saura-Calixto, F.; Shaha, S.; Kroon, P. High contents of nonextractable polyphenols in fruit suggest that polyphenol contents of plant foods have been underestimated. *J. Agric. Chem.* **2009**, *57*, 7298–7303. <https://doi.org/10.1021/jf9016652>.
24. Rodríguez, L.G.G.; Perea, J.M.; Anta, R.M.O. Los alimentos funcionales en el contexto de la dieta mediterránea. *Mediterráneo Económico* **2015**, *27*, 139–160.
25. Morales, R.; Tardío, J.; Aceituno, L.; Molina, M.; Pardo de Santayana, M. Biodiversidad y Etnobotánica en España. In *Memorias Real Sociedad, Española de Historia Natural*; Viejo Montesinos, J.L., Ed.; Real Sociedad Española de Historia Natural: Madrid, Spain, 2011; pp. 157–208.
26. Poonia, A.; Upadhyay, A. *Chenopodium album* Linn: Review of nutritive value and biological properties. *J. Food Sci. Technol.* **2015**, *52*, 3977–3985. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1553-x>.
27. Avato, P.; Argentieri, M.P. Brassicaceae: A rich source of health improving phytochemicals. *Phytochem. Rev.* **2015**, *14*, 1019–1033. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9414-4>.
28. Tardío, J.; de Cortes Sánchez-Mata, M.; Morales, R.; Molina, M.; García-Herrera, P.; Boussalah, N. Ethnobotanical and food composition monographs of selected Mediterranean wild edible plant. In *Mediterranean Wild Edible Plants*; Sánchez-Mata, M., Tardío, J., Eds.; Springer Science: New York, NY, USA, 2016; pp. 273–470. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_13.
29. Jakubczyk, K.; Janda, K.; Watychowicz, K.; Lukasiak, J.; Wolska, J. Garden nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) a source of mineral elements and bioactive compounds. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* **2018**, *69*, 119–126.
30. Panfili, G.; Niro, S.; Bufano, A.; D'Agostino, A.; Fratianni, A.; Paura, B.; Falasca, L.; Cinquanta, L. Bioactive compounds in wild Asteraceae edible plants consumed in the Mediterranean Diet. *Plant Foods Hum. Nutr.* **2020**, *75*, 540–546. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00842-y>.
31. Fukalova, T.; García Martínez, M.D.; Raigón, M.D. Five undervalued edible species inherent to autumn-winter season: Nutritional composition, bioactive constituents and volatiles profile. *Peer J.* **2021**, *9*, e12488. <https://doi.org/10.7717/peerj.12488>.
32. Rocchetti, G.; Braceschi, G.P.; Odello, L.; Bertuzzi, T.; Trevisan, M.; Lucini, L. Identification of markers of sensory quality in ground coffee: An untargeted metabolomics approach. *Metabolomics* **2020**, *16*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11306-020-01751-6>.
33. Arias-Rico, J.; Macías-León, F.J.; Alanís-García, E.; Cruz-Cansino, N.D.S.; Jaramillo-Morales, O.A.; Barrera-Gálvez, R.; Ramírez-Moreno, E. Study of edible plants: Effects of boiling on nutritional, antioxidant, and physicochemical properties. *Foods* **2020**, *9*, 599. <https://doi.org/10.3390/foods9050599>.
34. Lara, C.D.; Boettler, B.; Ovando, M. Diagnóstico del pápaloquelite en México *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. var. *macrocephalum* (DC.) Cronq. In *Red Quelites*; Márquez Ortiz, L., Ed.; Universidad Autónoma Chapingo: Chapingo, México, 2011; pp. 1–61.
35. USDA: U.S. Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference. Available online: [Fdc.nal.usda.gov](https://fdc.nal.usda.gov); <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169274/nutrients> (accessed on 5 July 2021).
36. Mangoba, P.M.A. Prospecção de Características Fitoquímicas, Antibacterianas e Físico-Químicas de *Portulaca Oleracea* L. (Beldroega). Dissertation Thesis, Porto Alegre, Brazil, 2015. Available online: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/115207> (accessed on 9 October 2021).
37. Petropoulos, S.A.; Fernandes, Â.; Dias, M.I.; Vasilakoglou, I.B.; Petrotos, K.; Barros, L.; Ferreira, I.C. Nutritional value, chemical composition and cytotoxic properties of common purslane (*Portulaca*

- oleracea* L.) in relation to harvesting stage and plant part. *Antioxidants* **2019**, *8*, 293. <https://doi.org/10.3390/antiox8080293>.
38. Carbajal Azcona, Á. *Manual de Nutrición y Dietética*; Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia: Madrid, Spain, 2013; pp. 1–367.
 39. BEDCA: Base de Datos Española de Composición de Alimentos. Available online: <https://www.bedca.net/bdpub/index.php> (accessed on 4 November 2021).
 40. Kamal-Uddin, K.; Quan, L.; Haasan, M.; Motmainna, M.; Selamat, M. Purslane: A perspective plant source of nutrition and antioxidant. *Plant Arch.* **2020**, *20*, 1624–1630.
 41. Aberoumand, A. Protein, fat, calories, minerals, phytic acid and phenolic in some plant foods based diet. *J. Food Process Technol.* **2011**, *2*, 1–4. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000114>.
 42. Darmon, N.; Darmon, M.; Maillot, M.; Drewnowski, A. A nutrient density standard for vegetables and fruits: Nutrients per calorie and nutrients per unit cost. *J. Am. Diet. Assoc.* **2005**, *105*, 1881–1887. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.09.005>.
 43. Idris, O.A.; Wintola, O.A.; Afolayan, A.J. Comparison of the proximate composition, vitamins (ascorbic acid, α -tocopherol and retinol), anti-nutrients (phytate and oxalate) and the GC-MS analysis of the essential oil of the root and leaf of *Rumex crispus* L. *Plants* **2019**, *8*, 51. <https://doi.org/10.3390/plants8030051>.
 44. Blumwald, E. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Cell Biol.* **2000**, *12*, 431–434. [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(00\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(00)00112-5).
 45. Hartikainen, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **2005**, *18*, 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.009>.
 46. Moscuza, N. Verdolaga una alternativa saludable. Master's Thesis, Universidad FASTA, Mar de Plata, Argentina, 2016. Available online: <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/1271> (accessed on 9 October 2021).
 47. Available online: Portal Antioxidantes.com; <http://www.portalantioxidantes.com/antioxidantes> (accessed on 17 October 2021).
 48. Lenzi, A.; Orlandini, A.; Bulgari, R.; Ferrante, A.; Bruschi, P. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: A comparison between microgreens and baby greens. *Foods* **2019**, *8*, 487. <https://doi.org/10.3390/foods8100487>.
 49. Youssef, K.M.; Mokhtar, S.M. Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. leaves. *J. Nutr. Food Sci.* **2014**, *4*, 1–6. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000322>.
 50. Marques, E.A.; Oliveira, J.A.; Coelho, A.D.; Salimena, J.P.; Gavilanes, M.L. *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. A review of the last 39 years. *Res. Soc. Dev.* **2020**, *9*, e944975215. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5215>.
 51. Lim, Y.Y.; Quah, E.P.L. Antioxidant properties of different cultivars of *Portulaca oleracea*. *Food Chem.* **2007**, *103*, 734–740. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.025>.
 52. Oliveira, L.d.L.d.; Carvalho, M.V.d.; Melo, L. Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. *Rev. Ceres* **2014**, *61*, 764–779. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461000002>.
 53. Sdouga, D.; Branca, F.; Kabtni, S.; Di Bella, M.C.; Trifi-Farah, N.; Marghali, S. Morphological Traits and Phenolic Compounds in Tunisian Wild Populations and Cultivated Varieties of *Portulaca oleracea* L. *Agronomy* **2020**, *10*, 948. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070948>.
 54. Reyes, L.F.; Villarreal, J.E.; Cisneros-Zevallos, L. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chem.* **2007**, *101*, 1254–1262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.032>.
 55. Erkan, N. Antioxidant activity and phenolic compounds of fractions from *Portulaca oleracea* L. *Food Chem.* **2012**, *133*, 775–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.091>.
 56. Udeagha, A.U.; Shomkegh, S.A.; Daniel, K.S. An assesment of leaf chlorophyll concentration of afforestation tree species in South-Eastern, Nigeria. *J. For. Environ. Sci.* **2016**, *32*, 205–211. <https://doi.org/10.7747/JFES.2016.32.2.205>.
 57. Sharma, S.; Katoch, V.; Kumar, S.; Chatterjee, S. Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *J. Nutr. Biochem.* **2021**, *92*, 108615. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108615>.
 58. Mzoughi, Z.; Chahdoura, H.; Chakroun, Y.; Cámara, M.; Fernández-Ruiz, V.; Morales, P.; Mosbah, H.; Flamini, G.; Snoussi, M.; Majdoub, H. Wild edible Swiss chard leaves (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*):

- Nutritional, phytochemical composition and biological activities. *Food Res. Int.* **2019**, *119*, 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.039>.
59. Moreno, C.B.; Soto, K.; González, R.D. El consumo de nitrato y su potencial efecto sobre la salud cardiovascular. *Rev. Chil. Nutr.* **2015**, *42*, 199–205. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200013>.
 60. AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutricion. Available online: http://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/nitratos.htm (accessed on 21 June 2021).
 61. Sobko, T.; Marcus, C.; Govoni, M.; Kamiya, S. Dietary nitrate in Japanese traditional foods lowers diastolic blood pressure in healthy volunteers. *Nitric Oxide* **2010**, *22*, 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2009.10.007>.
 62. Kapil, V.; Weitzberg, E.; Lundberg, J.O.; Ahluwalia, A. Clinical evidence demonstrating the utility of inorganic nitrate in cardiovascular health. *Nitric Oxide* **2014**, *38*, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.03.162>.
 63. Silva, L.F.L.E.; Souza, D.C.; Resende, L.V.; Nassur, R.D.C.M.; Samartini, C.Q.; Gonçalves, W.M. Nutritional evaluation of non-conventional vegetables in Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **2018**, *90*, 1775–1787. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170509>.
 64. Pardo-Marín, O.; Yusà-Pelechà, V.; Villalba-Martín, P.; Perez-Dasí, J.A. Monitoring programme on nitrates in vegetables and vegetable-based baby foods marketed in the Region of Valencia, Spain: Levels and estimated daily intake. *Food Addit. Contam.* **2010**, *27*, 478–486. <https://doi.org/10.1080/19440040903439804>.
 65. Raigón, M.D.; García-Martínez, M.D.; Guerrero, C.; Esteve, P. Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. In Proceedings of the VII Congreso SEAE Zaragoza, Zaragoza, Spain, 18–23 September 2006.
 66. Devkar, S.T.; Suryapujary, S.M.; Jagtap, S.D.; Katyare, S.S.; Hegde, M.V. Effect of macronutrient deficiency on withanolides content in the roots of *Withania somnifera* and its relationship with molybdenum content. *Pharm. Biol.* **2015**, *53*, 518–523. <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.931439>.
 67. Silva, V.N.B.; Vieira, L.R.; Sousa, C.A.F.; Souza, M.T., Jr. Morphological Changes in *Portulaca oleracea* L. under salt stress. In Proceedings of the Inovagri International Meeting, 4, Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza, Brazil, 2017; Simpósio Brasileiro de Salinidade, 3. Available online: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1088965/1/TC4800865.pdf> (accessed on 9 October 2021).
 68. Peñaranda, J.C.; CRodrigo, G.; Ticona-Bustillos, A.R.; Valenzuela, E.; Ramos, S.; San Martín, A.; Ghezzi, F.; Almanza, G.R. Variación en la concentración de flavonoides y clorofila, y cambios en la morfología y anatomía foliar, debidos a radiación visible (PAR) o ultravioleta (UVA, UVB) en *Baccharis Latifolia*. *Rev. Bol. Quim.* **2020**, *37*, 210–222. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.5.1>.
 69. Fan, Y.; Feng, H.; Liu, L.; Zhang, Y.; Xin, X.; Gao, D. Chemical components and antibacterial activity of the essential oil of six pyrrosia species. *Chem. Biodivers.* **2020**, *17*, e2000526. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000526>.
 70. Misztal, P.K.; Hewitt, C.N.; Wildt, J.; Blande, J.D.; Eller, A.S.; Fares, S.; Goldstein, A.H. Atmospheric benzenoid emissions from plants rival those from fossil fuels. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep12064>.
 71. Baccouri, B.; Temime, S.B.; Campeol, E.; Cioni, P.L.; Daoud, D.; Zarrouk, M. Application of solid-phase microextraction to the analysis of volatile compounds in virgin olive oils from five new cultivars. *Food Chem.* **2007**, *102*, 850–856.
 72. Kunishima, M.; Yamauchi, Y.; Mizutani, M.; Kuse, M.; Takikawa, H.; Sugimoto, Y. Identification of (Z)-3-(E)-2-hexenal isomerases essential to the production of the leaf aldehyde in plants. *J. Biol. Chem.* **2016**, *291*, 14023–14033. <https://doi.org/10.1074/jbc.M116.726687>.
 73. Chadwick, M.; Trewin, H.; Gawthrop, F.; Wagstaff, C. Sesquiterpenoids lactones: Benefits to plants and people. *J. Mol. Sci.* **2013**, *14*, 12780–12805. <https://doi.org/10.3390/jjms140612780>.
 74. Zakari, I.S.; N’guessan, A.; Dehaut, A.; Duflos, G. Volatile Compounds Selection via Quantile Correlation and Composite Quantile Correlation: A Whiting Case Study. *Open J. Stat.* **2016**, *6*, 995. <https://doi.org/10.4236/ojs.2016.66079>.
 75. Leidinger, W. ¿Por qué pica el ají? Notas químicas sobre el ají. *Rev. Quim. PUCP* **2020**, *34*, 22–25.
 76. Megaloudi, F. Wild and cultivated vegetables, herbs and spices in Greek Antiquity (900 B.C. to 400 B.C.). *Environ. Archaeol.* **2005**, *10*, 73–82. <https://doi.org/10.1179/env.2005.10.1.73>.

77. Rzedowski, G.C.; Rzedowski, J. Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato. In *Flora del Bajío y de Regiones Adyacente*; Centro Regional de Bajío, Ed.; Instituto de Ecología, A.C.: Veracruz, Mexico, 2004; pp. 1–315.
78. Loayza, I.; De Groot, W.; Lorenzo, D.; Dellacassa, E.; Mondello, L.; Dugo, G. Composition of the essential oil of *Porophyllum ruderle* (Jacq.) Cass. from Bolivia. *Flavour Fragr. J.* **1999**, *14*, 393–398.
79. Soria García, J.M.; Romo, S.; Palacios Pastor, A.; García Picazo, A.; Aledón Catalá, T.; Calvo García, S.; et al. Evaluación de la conservación de los humedales costeros de la Comunidad Valenciana mediante imágenes de Landsat. In *Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI*; Bustamante, J., Díaz-Delgado, R., Aragonés, D., Afán, I., García, D., Eds.; Asociación Española de Teledetección: Sevilla, Spain, 2015; pp. 354–357.
80. AOAC. *Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists*, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemist (AOAC International): Washington, DC, USA, 2005.
81. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* **1995**, *28*, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
82. Singleton, V.L.; Rossi, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* **1965**, *16*, 144–158.
83. Plazas, M.; Prohens, J.; Cuñat, A.N.; Vilanova, S.; Gramazio, P.; Herraiz, F.J.; Andújar, I. Reducing capacity, chlorogenic acid content and biological activity in a collection of scarlet (*Solanum aethiopicum*) and Gboma (*S. macrocarpon*) eggplants. *Int. J. Mol. Sci.* **2014**, *15*, 17221–17241. <https://doi.org/10.3390/ijms151017221>.
84. Bae, H.; Jayaprakasha, G.K.; Jifon, J.; Patil, B.S. Extraction efficiency and validation of an HPLC method for flavonoid analysis in peppers. *Food Chem.* **2012**, *130*, 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.041>.
85. Hansmann, E. Pigment Analysis. In *Handbook of Phycological Methods-Culture Methods and Growth Measurements*; Stein, J.R., Ed. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1973; pp. 359–368.
86. Moreno, E.; Fita, A.; González-Mas, M.C.; Rodríguez-Burruezo, A. HS-SPME study of the volatile fraction of Capsicum accessions and hybrids in different parts of the fruit. *Sci. Hortic.* **2012**, *135*, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.001>.

IV.2. CAPÍTULO 2: CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS CINCO PLANTAS SILVESTRES inherentes al período otoño-invierno

PUBLICACIÓN 2:



Five undervalued edible species inherent to autumn-winter season: nutritional composition, bioactive constituents and volatiles profile

Tamara Fukalova Fukalova¹, María Dolores García Martínez² and María Dolores Raigón²

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador

² Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, Spain

Submitted 29 July 2021

Accepted 24 October 2021

Published 23 November 2021

Corresponding author

María Dolores Raigón,
mdraigon@qim.upv.es

Academic editor

Ann Hedrick

Additional Information and
Declarations can be found on
page 17

DOI 10.7717/peerj.12488

© Copyright

2021 Fukalova Fukalova et al.

Distributed under

Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

[How to cite this article](#) Fukalova Fukalova T, García Martínez MD, Raigón MD. 2021. Five undervalued edible species inherent to autumn-winter season: nutritional composition, bioactive constituents and volatiles profile. PeerJ 9:e12488
DOI 10.7717/peerj.12488

Abstract

Background. Wild edible herbs have historically been used as local nutritional and medicinal sources. These plants grow spontaneously, depending on the season. They adapt well to different edaphoclimatic conditions, generating a diversity constituent beneficial to health. They impart compounds needed in the human diet in regard to macro and micronutrients. When consumed raw, they keep their properties intact and provide health benefits. Five undervalued edible plants: *Stellaria media* (L.) Vill, *Tropaeolum majus* L., *Sonchus oleraceus* L., *Chenopodium album* L. and *Diplotaxis eruroides* (L.) DC are characteristic of the autumn-winter season in the Valencian coastal region and could have new sustainable agro-ecological potential for the local commercial sector. However, little information is available from the nutritional quality and bioactive composition viewpoint for these species. Concurrently, the volatiles compounds profiles describing the characteristic flavors are unknown.

Methods. Nutritional characteristics, bioactive compounds, and other chemical components of the fresh leaves were analyzed. In addition, the volatiles composite profile was performed. The analyzed species come from the soil reservoir; their wild growth is adjusted to the autumn season. The proximate analysis was carried out by Association of Official Analytical Chemists methods. Total antioxidants were measured as 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl hydrate (DPPH) and total polyphenols content via the Folin-Ciocalteu procedure. Volatiles profile was determined by gas chromatography-mass spectrometry. The vegetative part analyzed was the tender leaves with edible potential.

Results. A high variability has been obtained in the composition of the species studied. The proximate analysis found a considerable content of fiber (1.22-5.4 g·100 g⁻¹), potassium (157.7-1250.6 mg·100 g⁻¹), iron (0.6-2.0 mg·100g⁻¹), and a low caloric value (16.1-43.02 kcal·mg·100 g⁻¹). In bioactive compounds analysis, a high level of antioxidants was highlighted (1604.3 - 4874.6 μmol·100 g⁻¹), followed by chlorophylls. Volatiles profile revealed that the species were rich in benzenoids (33.8-89.9%) as the majority family. The pyrazines class was characteristic only in *D. eruroides* L.

Discussion. Fresh edible leaves of the undervalued plants show considerable nutritional potential and a high bioactive components level, which highlight the antioxidant capacity. Leaves of *C. album* L. stand out due to their higher concentration of nutritional compounds, while *D. eruroides* L. is noted for its higher antioxidant capacity. Aromatic descriptor of pyrazines detected in the leaves of *D. eruroides* L. is associated with the slightly spicy flavors that characterize this species. Results suggest that studied species could be of great relevance in introducing these five edible herbs as a source of new grown material, postulating them as healthy food ingredients with attractive flavors for the gourmet cuisine industry.

Subjects: Food Science and Technology, Plant Science

Keywords: Antioxidants, Chlorophylls, Nutritional quality, Volatiles profile, Undervalued species

Introduction

Wild resources are an essential part of biocultural heritage for all cultures, which have used them for centuries (*Rotherham, 2015; Tanús et al., 2019*). Within these resources, the plants are a vital support in extreme environmental conditions and threatened habitats, as they possess many health-promoting values (*Murthy & Paek, 2020*). It has been widely observed (*de Cortes Sánchez-Mata & Tardío, 2016*) that the Mediterranean macrobioclimate and its ecosystems show remarkably high diversity in the heterogeneity of their plants. This biodiversity includes the wild plants that are used for nutritional and therapeutical purposes. Many wild edible plants are characteristic of their seasonality and can only be consumed in certain seasons of the year. The local people appreciate these plants for their organoleptic properties and a large number of edible wild plants is still included in traditional diets. Nevertheless, the use of wild vegetables has often been relegated to local perception and has been globally undervalued, despite its valuable contribution of minerals and vitamins in certain seasons.

Climate change is expected to have a negative impact on the four pillars of food security: availability, access, utilization, and stability, which will affect the food system (*Mbow et al., 2019*). Food systems such as food biodiversity also contribute to human and animal diets. A Global Burden Disease study report carried out in 204 countries concluded that there is an urgency to carry out a coordinated global effort to improve the quality of the human diet (*Vos et al., 2020*). According to this report, undervalued wild plants could be considered to have potential to improve the quality of the human diet for their micronutrient content, especially vitamins, minerals and other phytochemical compounds with antioxidant properties. Moreover, the epidemiological evidence indicates a correlation between the intake of food rich in antioxidants and the reduction of certain non-communicable diseases (*Wagner & Brath, 2012; Iriti et al., 2020; Ros & Gonzalez, 2020*).

The continental Spanish flora contains 6152 species, 53% of them being European flora and 15% of plants being endemic to this area (*Aedo et al., 2013*). This abundance of herbs explains the extensive consumption of wild edible plants in food traditions and why the Mediterranean diet is declared Intangible Heritage of Humanity by UNESCO (*González-Turmo & Medina, 2010*). Seasonality is very strong under Mediterranean climate conditions. For this reason, certain wild plants are collected and consumed only at specific times of the year (*de Cortes Sánchez-Mata & Tardío, 2016*). The leaves of some species are predominantly eaten either raw or cooked. Eating the fresh raw materials fresh is probably

the best way of getting all the benefits attributed to these vegetables (*Bennett et al., 2006*), because the nutrients and bioactive compounds present in the plants are fully preserved when consumed fresh. In addition, the leaves are characterized by individual tastes, depending on the species, genetic diversity, and environment.

Another important aspect provided by the undervalued species of edible leaf is the taste and smell of gastronomic preparations. This makes edible leaf a good material for culinary innovation (*García-Herrera et al., 2020*). In addition, research on functional ingredients such as vitamins, antioxidants, fatty acids, fiber, and other supposedly therapeutic substances is helping to the development of the functional food market, that becoming the star up of nutrition (*Rodríguez et al., 2015*).

Nowadays, in most cases, ethnobotanical studies reveal either a dramatic or a gradual loss of traditional knowledge and practices. Only a few species are still widely collected and consumed by older people, but their ethnobotanical knowledge is not being absorbed by the younger generation. This situation leads to the underutilization of many plants, due to the discontinuity of expertise.

According to their high cultural relevance, as shown in the previous ethnobotanical review (*Chidrawar et al., 2011; Morales et al., 2014; Poonia & Upadhayay, 2015; Avato & Argentieri, 2015; Tardío et al., 2016; Jakubczyk et al., 2018; Panfili et al., 2020*), as well as the growing popularity of vegetable salads in the traditional diet of the Valencian coast, five different undervalued wild species were chosen: *Stellaria media* (L.) Vill, *Tropaeolum majus* L., *Sonchus oleraceus* L., *Chenopodium album* L., *Diplotaxis eruroides* (L.) DC. The five species studied in this research have in common the temporal coexistence of germinating in the early autumn and reaching optimal vegetative development in the autumn-winter period, on the Valencian coast.

Taking into consideration all the points mentioned above, the aim was to analyze the chemical composition, including proximate composition traits (moisture, titrable acidity and nutrients), bioactive compounds (chlorophylls, total phenolics and antioxidant activity), and minerals. An additional goal was to make the volatiles profile as odor-active compounds of fresh leaves. To the authors' knowledge, the volatiles profile research is the first study of the selected species. Supplementary to this, it was proposed to obtain information about the nutritional potential of these plants in order to support their consumption, with the aim of promoting knowledge about the benefits of these undervalued wild edible plants and thus

enhancing their uses as suitable raw materials in healthy and sustainable diets, and also as food recovery for application in gourmet gastronomy.

Materials & Methods

Plant material and sample preparation






The five species studied have been chosen for having an abundant presence in Mediterranean soils from the beginning of autumn, expanding their presence throughout the winter. In all cases, these are undervalued species for current consumption. The species became present in popular gastronomy years ago, but at the present time, they are not part of the common intake of the area. Due to their organoleptic properties, they could be of great interest in food production and consumption. The five species appear spontaneously, after the first autumn rains (late September) and with the drop-in soil temperature. The life cycle varies, depending on the genetics and the edaphoclimatic conditions.

Stellaria media (L.) Vill is native to Europe, but has been spread by human activities throughout the world, and is now one of the most widespread weeds in the world. Reproduction is predominantly by seeds accumulated in soil. *Tropaeolum majus* L. is an invasive species in many warm regions. It reproduces easily through seeds, but in Mediterranean conditions, deep fleshy roots remain in the ground, leading to spontaneous budding in late October.

Sonchus oleraceus L. is an annual plant and a predominantly winter-active weed species (Peerzada et al., 2019); it is considered as weed lettuce and its reproduction is predominantly by seeds accumulated in soil. *Chenopodium album* L. is an annual herb that grows in all types of soils rich in nitrogen, and is widely spread across the globe, reproduced solely by seeds. There is archaeological evidence to suggest it was cultivated as a pseudo-cereal in Europe in prehistory (Stokes & Rowley-Conwy, 2002). *Diploaxis eruroides* (L.) DC, is a Mediterranean winter annual weed, which has been identified by analyzing cohorts that emerge in autumn (Sans & Marsalles, 1994).

Brief additional descriptions of each species, such as their family, plant name, vernacular names, traditional and medicinal uses are contained in [Table 1](#).

Table 1 Description of the wild plant species collected and their uses

Family	Plant name	Vernacular names	Traditional uses	Medicinal uses	Reference
 Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill	Common chickweed, chickenwort, craches, maruns, pamplina	Fresh salad, infusion, spice, stews	Expectorant, mucolytic, diuretic, healing, emollient	(Brondani et al., 2019; Alvarez, 2019; Soutullo et al., 2015)
 Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum majus</i> L.	Indian cress, climbing nasturtium, monk cress, empress of india	Leaves us salad, fruits us pickled, flowers us and desserts drinks	Aperitif, anti-inflammatory, diuretic, circulation	(Brondani et al., 2016; Junior et al., 2011)
 Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Smooth sowthistle, common sowthistle, milky tassel, swinies,	Fresh salad, soup, fried, stewed, infusion, decoction	Laxative, diuretic, digestive, astringent, hypoglycemic	(Chen et al., 2019; Vilela et al., 2010)
 Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i> L.	Fat hen baconweed, pigweed, wild spinach, white goosefoot	Vegetable, infusion, seeds to obtain semolina, condiment	Laxative, antiparasitic, antifungal, sedative	(Nengroo & Rauf, 2021; Del Vitto et al., 1998)
 Brassicaceae	<i>Diplotaxis erucoides</i> (L.) DC	White rocket, white rabaniza, mediterranean wasabi, fine caterpillar	Fresh salad, dressing, soup, decoction	Stimulant, diuretic, expectorant, antibacterial	(Bell & Wagstaff, 2019; Ballesta, & Negre, 2018)

The random choice of the fresh samples in their natural habitat was carried out in conjunction with ecological cooperative members in rural environments. The area is located within latitudes N 39°45'13'' and longitudes W 0°12'21'', with ecological characterization code 81 (Montesinos et al., 2009). Approximately 1 kg of the aerial parts of each species was collected.

The plant samples were manually cleaned by removing soil particles and damaged parts before performing the analysis. Only whole leaves were used, while non-edible portions were eliminated. Parts of the fresh leaves were used for extractions and analytical quantifications of total antioxidants (methanolic extract): polyphenols, nitrates, pH and total acidity (aqueous extract), and chlorophylls (acetonic extract). The rest of the aerial parts were air-dried in ovens (J.P. Selecta, 2000787 model) at 70 °C with low humidity conditions. Dried samples were powdered with a grinder (Retsch KG-5657 Haan) and stored at 4 °C until subsequent analysis (for nutritional components and mineral elements).

Standards and reagents

All chemicals and solvents were analytically graded. The methanol (80% v/v) and acetone (80% v/v) solutions were prepared from solvents. Sodium carbonate, citric acid, boric acid; sulfuric acid, hydrochloric acid, phosphoric acid, lanthanum (III) chloride and sodium hydroxide (Scharlau). Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), 2,2'-azobis-2-methyl-propanimidamide, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH), Folin-Ciocalteu reagent (FCR), iron (III) chloride hexahydrate, and gallic acid were purchased from Sigma-Aldrich Co. Water was treated in Water Still Aquatron A4000.

Nutritional composition

Prior to the sample's analysis, all analytical methods were optimized and fine-tuned for the specific analysis of this type of matrix. All determinations were performed in triplicate.

Proximate analysis

Analyzes were performed following the methods recommended by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) to determine the moisture content (AOAC 984.25), crude protein (AOAC 984.13), fat (AOAC 983.23), crude fiber (AOAC 991.43) and ash (AOAC 923.03). The total carbohydrate content was calculated by difference. The results were expressed in $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ fresh weight (fw).

Mineral analysis

The samples were digested in a Carbolite CWF 1100 muffle at 550 °C, with reference to the AOAC 985.35 method. The calibration curves were established using working standards for each element. Minerals were analyzed by atomic absorption spectroscopy (EAA), using the thermo elemental AA series Spectrometer, software v.11.03 and hollow cathode lamps for each element, except phosphorus, which was analyzed by colorimetry (AOAC, 2005).

Bioactive constituents

Methanolic extract was obtained by mixing 0.8 g of fresh leaves and tender stems in 5 mL methanol solution (80% v/v); it was stirred for one hour at room temperature, using an orbital shaker SO1 (Stuart Scientific). Aqueous extract was obtained by grinding the fresh

aerial parts of each plant with water in a ratio of 2:1 (solvent: plant). Extracts were used immediately in respective determinations. Tree replicates were performed for each analysis.

Total antioxidants

To measure the extracts effect on the DPPH radical, the optimized method of *Brand-Williams et al. (1995)* was estimated. The DPPH solution (25 ppm in methanol 80% v/v) was prepared, and 3.9 mL of this solution was mixed with 0.1 mL methanolic extract (each sample). Absorbance was measured at 515 nm after 45 min of incubation with DPPH solution in the dark by a spectrophotometer (Schott UV line9400). The antioxidant Trolox was used as standard, and the results were expressed as micromoles of Trolox equivalents in each 100 g of fresh weight ($\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$).

Total polyphenols

Total phenolics were determined according to the Folin-Ciocalteu procedure, with some modifications. An aliquot of aqueous extract (50 μL) was mixed with 500 μL Folin-Ciocalteu Reagent (previously diluted with water 1:10 v/v) and 500 μL Na_2CO_3 solution of 6% (w/v). The cuvettes were mixed for 10 s and allowed to stand for 1 h at room temperature for color development. Absorbance was measured at 750 nm (Jenway 6715/UV-Vis spectrophotometer). Gallic acid was used to calculate the standard curve (25 ppm to 400 ppm) and the results were expressed as mg of gallic acid equivalents in each 100 g of fresh weight (mg GAE $\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$).

Chlorophylls a, b and total

All chlorophylls were determined using an adapted method proposed by *Hansmann (1973)*. The crushed aerial parts of each plant were suspended in acetone extraction solution (80% v/v), then they were stirred and filtered to avoid turbidity, and the volume was completed with the same extraction solution. Absorbance was measured at 645 nm, 653 nm and 663 nm (Schott UV line 9400) immediately. The wavelengths corresponded to chlorophylls a, b and total respectively. The results were expressed as micrograms of grams of fresh weight ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fw}$).

Other chemical components

Fresh plant subsamples were mixed with water in a ratio of 1:2 (w/v) at a temperature below 30 °C by mechanical grinder. The nitrates and pH direct analysis were performed immediately with respective electrodes by pH & Ion-Meter GLP 22+ (Crison Instruments).

The results for nitrates were expressed as milligram per each kg of fresh weight ($\text{mg NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ fw}$). Content in total acidity was determined potentiometrically, with titration of the NaOH 0.05 N solution. The results were expressed as a citric acid percentage.

Analysis of volatiles profile

Preparation of samples (5 g) and extraction of volatile compounds was performed by the HS-SPME technique according to *Moreno et al. (2012)*. Volatile aroma compounds of the leaves were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), using a 6890N Network GC System with autosampler coupled to a 5973 Inert Mass Selective Detector (Agilent Technologies). Analytical conditions: the stationary phase was HP-5MS J&W silica capillary column (5% phenyl-95% methylpolysiloxane); the carrier gas was helium at a constant flow of 1 mL min^{-1} ; the transfer line was maintained at $220 \text{ }^\circ\text{C}$; the electron impact (EI) mode with 70 eV ionization energy (source temperature $225 \text{ }^\circ\text{C}$) was used for detection by the mass spectrometer, and acquisition was performed in scanning mode (mass range m/z 35-350 amu). Volatile extractions were run in triplicate.

Statistical analysis

The individual values of nutritional, mineral, and bioactive analysis were used to obtain the mean value and the standard error for the five species studied. Data were analysed using a one-way analysis of variance (ANOVA), considering the type of specie as a factor. Statistical significance was evaluated using Tukey Honestly Significant Difference (HSD), with a cut-off significance of $p < 0.05$. Principal component analysis (PCA) was applied to improve the visualization of the results. This analysis was carried out by considering two cases: A) The parameters of the nutrients-minerals-chemical group; and B) the parameters of the bioactive components group. To perform PCA, linear regressions were operated on the data of covariance matrix in order to select the two highest principal components of each group. All statistical analysis was affected in the Statgraphics Plus software, version 5.1 (Manugistics. Inc., Rockville.MD). Finally, for the analysis of volatiles profiles, the relative abundances of each group of chemical family were calculated against the total identified in each sample and were expressed as percentages; an illustrative comparison of profiles was performed on Excel sheets.

Results

The nutritional profile, minerals, and chemical composition of the studied five wild species, expressed as fresh weights (fw), were evaluated, and well summarized in Table 2. Proximate composition showed moisture, ash, crude protein, fat, crude fiber and carbohydrate contents. Mineral content was determined in terms of macro minerals (Ca, Mg, K, P, Na) and micro minerals (Fe, Cu, Zn), expressed as mg in each 100 g of fresh leaves. The chemical components, such as NO₃⁻, pH and total acidity, were also determined, because they have importance in edible plants.

Table 2 Mean values with standard deviation and coefficient of variability of nutritional, mineral and chemical composition of five wild species.

		<i>Stellaria media</i> (L.) Vill	<i>Tropaeolum majus</i> L.	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Chenopodium album</i> L.	<i>Diploptaxis erucoides</i> (L.) DC					
Nutritional value (g 100 g ⁻¹)	Humidity	91.64±2.08 ^a	CV (%) 2.27	89.59±.25 ^a	CV (%) 0.27	89.21±1.08 ^a	CV (%) 1.21	80.19±0.91 ^b	CV (%) 1.13	88.27±0.74 ^a	CV (%) 0.84
	Ash	2.01±0.47 ^a	23.48	1.87±0.04 ^a	1.88	2.11±0.23 ^a	11.06	3.97±0.24 ^a	6.15	2.18±0.19 ^a	8.87
	Proteins	0.20±0.04 ^c	23.45	1.82±0.10 ^b	5.47	1.76±0.08 ^b	4.69	2.24±0.05 ^a	2.04	2.25±0.05 ^a	2.03
	Fat	0.39±0.12 ^b	30.64	0.45±0.11 ^a	23.35	0.35±0.02 ^b	5.36	0.25±0.03 ^c	13.72	0.25±0.04 ^c	14.16
	Fiber	1.22±0.42 ^c	34.19	5.08±0.62 ^a	12.13	3.66±0.85 ^b	23.13	5.40±0.44 ^a	8.19	2.93±0.35 ^b	11.78
	Carbohydrate	4.55±1.29 ^b	28.38	1.18±0.34 ^c	28.88	2.90±0.15 ^d	5.34	7.94±0.36 ^a	4.58	4.13±0.64 ^b	15.43
	Energy value (kcal 100 g ⁻¹)	22.47±4.31	19.20	16.10±3.35	20.84	21.78±0.29	1.35	43.02±1.00	2.34	27.73±2.57	9.27
Minerals (mg 100 g)	Calcium	71.5±21.5 ^c	30.06	119.6±12.8 ^b	10.72	119.2±8.5 ^b	7.13	313.2±50.5 ^a	16.12	60.0±27.2 ^c	45.38
	Magnesium	82.6±20.1 ^c	24.28	67.4±9.0 ^c	13.38	78.7±8.9 ^c	11.29	480.6±107.3 ^a	22.34	114.1±26.3 ^b	23.07
	Potassium	710.1±99.7 ^b	14.04	574.7±61.3 ^c	10.67	714.9±115.9 ^b	16.21	1250.6±59.6 ^a	4.77	157.7±11.6 ^d	7.36
	Phosphorus	44.7±12.8 ^b	28.54	49.3±3.1 ^b	6.25	50.1±6.1 ^b	12.18	81.8±6.2 ^a	7.59	47.7±6.8 ^b	14.32
	Sodium	24.8±8.9 ^b	36.12	16.1±0.3 ^b	1.76	39.4±8.2 ^a	20.79	7.5±0.8 ^c	10.57	14.8±1.1 ^c	7.47
	Iron	1.3±0.4 ^b	33.69	0.6±0.0 ^c	5.36	1.5±0.3 ^a	19.71	2.0±0.2 ^a	11.26	1.2±0.1 ^b	12.06
	Copper	0.1±0.01 ^b	20.25	0.1±0.0 ^b	59.91	0.1±0.03 ^b	47.52	0.2±0.09 ^a	48.06	0.1±0.0 ^b	47.52
Chemicals	Zinc	0.8±0.2 ^a	32.34	0.7±0.1 ^b	12.65	0.7±0.1 ^b	12.88	0.8±0.1 ^a	16.59	0.5±0.1 ^c	16.79
	Nitrates (mg NO ₃ ⁻ ·kg ⁻¹)	75.62±6.00 ^b	7.9	56.33±5.21 ^c	9.2	92.82±10.3 ^a	11.1	31.61±6.29 ^d	19.9	17.96±2.86 ^e	15.9
	pH	6.12±0.11 ^b	1.9	6.00±0.19 ^b	3.3	6.21±0.06 ^b	1.0	6.54±0.15 ^a	2.3	5.72±0.05 ^c	0.9
	Acidity total (% cítric acid)	0.15±0.01 ^b	8.9	0.17±0.02 ^b	10.6	0.12±0.02 ^b	17.1	0.12±0.01 ^c	6.0	0.29±0.05 ^a	15.9

Notes.

^{a-d} Superscript showed that a significant difference exist; humidity, ash, crude protein, crude fiber, carbohydrate, Ca, Mg, K, Zn, NO₃⁻, acidity total (p=0.000); fat (p=0.028); P, Fe, Cu (p=0.001) and Na, pH (p=0.003).

High moisture values were observed in most vegetables' species. There are significant differences (p=0.000) between the moisture content of the edible leaves of *C. album* L. (80.18%) compared to the moisture values of the rest of the leaves analyzed. The ash content ranged between 1.87% (*T. majus* L.) and 3.97% (*C. album* L.). The ash parameter presented the highest variability values, being the leaves of *S. media* L. - those that presented high variation coefficients (23.48%) in this parameter - followed by *S. oleraceus* (11.06%). Most species had a low protein content, ranging from 0.20% (*S. media* L.) to 2.25% (*D. erucoides* L.), and a low fat content from 0.25% (*C. album* L. and *D. erucoides* L.) to 0.45% (*T. majus* L.). In general, the species were characterized mainly by a high content of fiber,

carbohydrates and minerals. For the total fiber content, levels were between 1.22% (*S. media* L.) and 5.40% (*C. album* L.); for carbohydrates they were between 1.18% (*T. majus* L.) and 7.94% (*C. album* L.). All undervalued vegetable species analyzed showed a very low energetic value, less than 30 kcal 100 g⁻¹, except for *C. album* L. with 42.03 kcal 100 g⁻¹. The lowest caloric value was for *T. majus* L. (16.10 kcal 100 g⁻¹ fresh leaves).

The mineral contents in the leaves and tender stems of studied plants, expressed as mg·100 g⁻¹ fresh weight, are presented in Table 2. The relative standard deviation of mean values was wide in some cases. The richest source of all macro minerals, except sodium, was the *C. album* L. species, with 313.2 mg 100 g⁻¹ (Ca), 480.6 mg 100 g⁻¹ (Mg), 1250.6 mg 100 g⁻¹ (K), and 81.8 mg 100 g⁻¹ (P). The highest content of sodium was found in *S. oleraceus* L., with 39.4 mg 100 g⁻¹. The variations in potassium content were highly significant (p=0.000), with *D. erucoides* L. being the one with the lowest content (157.7 mg 100 g⁻¹) and *C. album* L. being the analyzed species with the highest concentration in this macroelement. Magnesium, as the second most important element in the studied leaves, showed high variability among the studied species, with *C. album* L. being the one with the highest concentration (p=0.000). As regards calcium, not all species had a good contribution of this element, as it ranged from 60.0 mg 100 g⁻¹ (*D. erucoides* L.) to the content in *C. album* L. (statistically significant differences). Sodium was a characteristic element in *S. oleraceus* L., with its highest value being p=0.003. Phosphorus had similar concentrations in all species, except for *C. album* L. (p=0.001), where it exceeded by 1.6 times the values found in the other species. The same species was also shown as a rich source of microminerals. The iron content of the edible part of the leaves was significantly higher (p = 0.001) for *C. album* L. (2.0 mg 100 g⁻¹), followed by *S. oleraceus* L. (1.5 mg 100 g⁻¹). These values differed from the remaining analyzed species (ranging from 0.6 to 1.3 mg 100 g⁻¹). The richest source of zinc was in *S. media* L. and *C. album* L. (0.8 mg 100 g⁻¹).

The results of the determination of chemical content on fresh weight are shown in Table 2. Nitrates were found to have the highest content in *S. oleraceus* L. (92.82 mg NO₃⁻ kg⁻¹) and the least content in *D. erucoides* L. (17.96 mg NO₃⁻ kg⁻¹); significant differences (p=0.000) were found between nitrate values in fresh leaves. In the other species, nitrates were detected at concentrations between 31.61-75.62 mg NO₃⁻ kg⁻¹. Total acidity values were inverse of pH values. There are significant differences (p=0.003) between the values. The most acidic pH was found in *D. erucoides* L., with 5.72, which also had the highest total acidity in the same species, with 0.29% citric acid.

The result of the determination of the bioactive components content in species is shown in Table 3, highlighting the low intraspecific variability of the antioxidant capacity values. The highest TAO concentrations were found in *T. majus* L. (4874.6 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) and *D. eruroides* L. (4227.4 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}$). The TAO value of the three remaining species ranged from 1537.1 to 1669.9 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}$.

Table 3 Mean values with standard deviation and coefficient of variability of bioactive compounds of the leaves of five wild species.

		<i>S. media</i> (L.) Vill		<i>T. majus</i> L.		<i>S. oleraceus</i> L.		<i>C. album</i> L.		<i>D. eruroides</i> (L.) DC	
			CV (%)		CV (%)		CV (%)		CV (%)		CV (%)
Bioactive components	TAO ($\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ fw}$)	1604.3 \pm 239.8 ^b	14.9	4874.6 \pm 132.3 ^a	27.1	1537.1 \pm 187.2 ^b	12.2	1669.9 \pm 194.4 ^b	11.6	4227.4 \pm 74.6 ^a	1.8
	TPP (mg GAE \cdot 100 g ⁻¹ fw)	398.8 \pm 165.7 ^a	41.5	378.1 \pm 117.9 ^a	31.2	237.6 \pm 49.5 ^a	20.8	398.8 \pm 165.7 ^a	41.6	208.6 \pm 31.6 ^a	15.2
	Chl a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fw}$)	1.07 \pm 0.02 ^c	2.0	0.93 \pm 0.39 ^c	43.0	2.26 \pm 0.14 ^a	6.4	1.62 \pm 0.43 ^b	26.5	0.92 \pm 0.20 ^c	21.2
	Chl b ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fw}$)	0.46 \pm 0.04 ^b	7.8	0.81 \pm 0.29 ^a	35.8	0.83 \pm 0.05 ^a	6.1	0.47 \pm 0.11 ^b	23.1	0.33 \pm 0.05 ^b	16.7
	Chl total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ fw}$)	1.53 \pm 0.04 ^b	2.6	1.74 \pm 0.69 ^b	39.7	3.09 \pm 0.19 ^a	6.3	2.08 \pm 0.54 ^a	25.7	1.25 \pm 0.25 ^b	19.9

Notes.

^{a-c} Superscript showed that a significant difference exists: TAO (p=0.000); Chl a (p=0.001); Chl b (p=0.004); Chl total (p=0.002).

In the case of TPP, differences were less remarkable in absolute values, and all species presented a similar average value of 303.7 mg GAE \cdot 100 g⁻¹. The highest chlorophyll a content was accentuated in *S. oleraceus* L. (2.26 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and *C. album* L. (1.62 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). High values of chlorophyll b presented in *T. majus* L. and *S. oleraceus* L. Consequently, high total chlorophyll values were found in the same species, because this one maintains, in general, a similar trend observed for chlorophyll a.

To reduce the dimensionality of a data set containing many inter-related variables, the PCA method was applied. This allowed global analysis of the results and suggested which attributes characterize the samples. The PCA where the total of the parameters (nutrients-minerals-chemicals) are included showed the first and second components of the PCA, which accounted, respectively, for 54.3 and 20.5% of the total variation. For the first component, all the mineral elements except Na, the nutrients such as protein, fiber and carbohydrates, and the pH value had positive values, whereas fat, moisture, Na, nitrates and total acidity had negative values (Fig. 1A). Regarding the second component, all the parameters had a positive value, except carbohydrates, protein, Mg and total acidity (Fig. 1A). The projections of the combinations on the PCA graph clearly show that the first component mostly separates *C. album* from the rest of the edible plants analyzed. Component 1 was highly correlated with carbohydrates, all minerals (except Na) and pH, and to a lesser

degree with crude fiber and protein in the species *C. album* L. Component 2 was highly correlated with total fiber, sodium, and nitrates in the species *S. media* L., *S. oleraceus* L. and *T. majus* L. For *D. erucoides* L., both components showed a negative correlation with total acidity.

The PCA for the bioactive components showed that the first and second components of the PCA accounted, respectively, for 55.2 and 26.1% of the total variation. In this case, the first component, all the chlorophylls (a, b and total) had positive values (Fig. 1B). Regarding the second component, total polyphenols and chlorophyll a had a negative value (Fig. 1B). For *D. erucoides* L. and *T. majus* L., Component 2 was highly correlated with total antioxidants. On the contrary, for *S. oleraceus* L., Component 1 showed a strong relationship with chlorophylls. Finally, both principal components presented positive correlation with total antioxidants in the species *S. media* L.

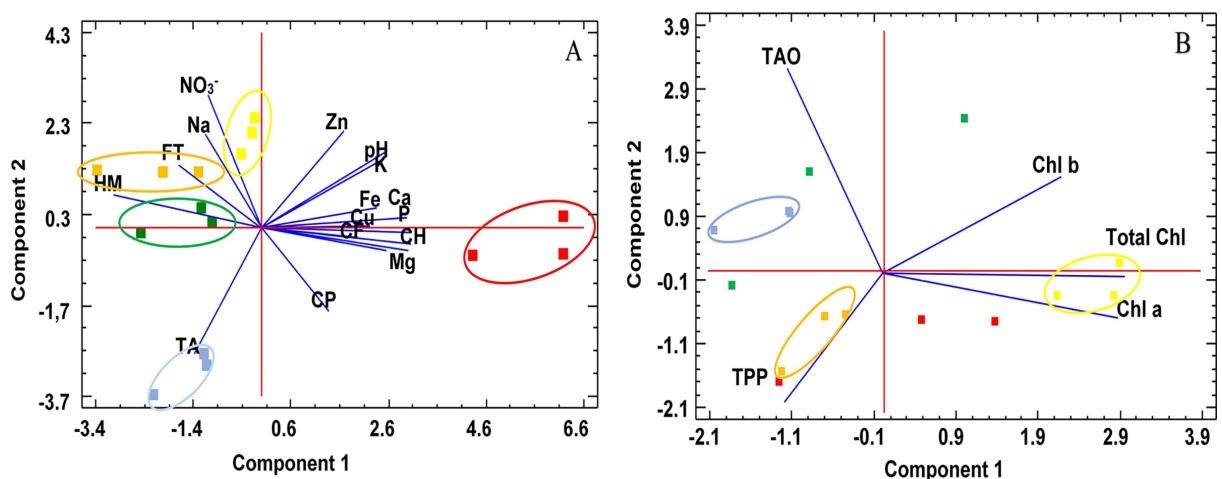


Figure 1: Principal component analysis: A) nutrients, minerals and chemicals dispersion diagrams; and B) bioactive dispersion diagram. Orange: *S. media* (L.) Vill L.; Green: *T. majus* L.; Red: *C. album* L.; Blue: *D. erucoides* (L.) DC; Yellow: *S. oleraceus* L.

Figure 2 presents the relative percentage of each group of chemical family for the component volatiles detected in the green leaves of fresh plants studied.

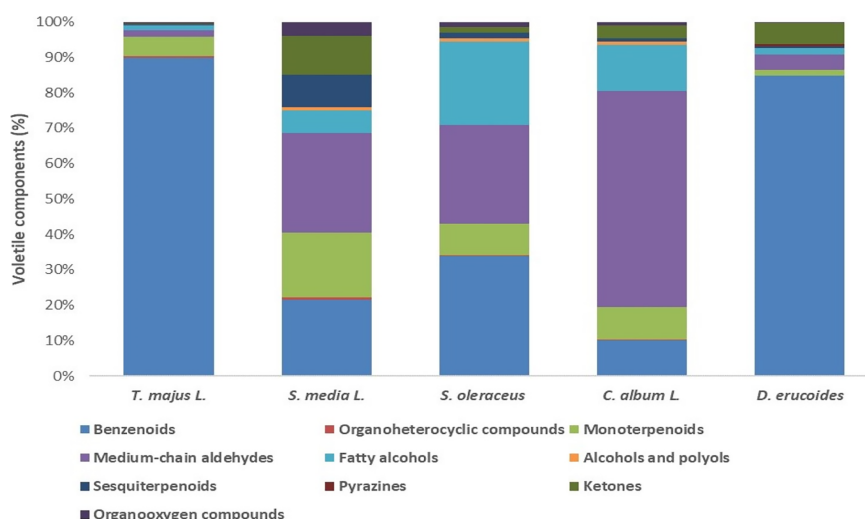


Figure 2: Relative (%) content of the volatiles chemical family of the five green leaves of fresh undervalued plants.

A total of 10 chemical families were isolated: benzenoids, monoterpenoids, fatty alcohols, sesquiterpenoids, ketones, organoheterocyclic compounds, medium-chain aldehydes, pyrazines, alcohols and organooxygen compounds. In all the leaves of the analyzed plants, the volatile compounds of the benzenoids chemical family were present and formed the majority in *T. majus* L. (89.9%) and *D. erucoides* L. (84.4%), followed by *S. oleraceus* L. (33.8%) and *S. media* L. (21.6%). For *C. album* L. the majority fraction was medium chain aldehydes with 60.9%, which was also found in representative portions in *S. oleraceus* L. and *S. media* L., with 27.8%. The chemical compounds of fatty alcohols stood out in *S. oleraceus* L. (23.7%), followed by *C. album* L. (13.0%). Ketones and sesquiterpenes families of chemical compounds were accentuated in *S. media* L., with 10.9% and 9.2%, respectively. In addition, ketones were the second class of volatile components in *D. erucoides* L. (5.9%). A pyrazine presence attracted attention in the edible leaves *D. erucoides* L., which differentiated this species from the others studied. Briefly, the edible leaves of *S. media* L. turned out to be more heterogeneous, and those of *T. majus* L. the most homogeneous in terms of aromatic components present in the volatiles profile.

Discussion

The five wild edible species examined in this work show a high diversity in their nutritional and chemical composition, bioactive components and aromatic fraction. This study has found that their quali-quantitative parameters could make an important contribution to balancing and rationalizing diets and result in healthy foods.

Some references can be found to the phytochemical studies of these plants, but the data available on their nutritional composition of leaves or volatile profiles are scarce. The quality parameters found in this research show that all analyzed species can be considered a good complement in healthy diets.

The studied species did not differ significantly in their moisture and ash contents compared to fresh leaves of the same Spanish species from different Mediterranean areas, ranging from 79.8% (*T. majus* L.) to 87.6% (*S. oleraceus* L.) (Tardío *et al.*, 2016). In *T. majus* L., both parameters were found only for its flowers, showing a wide variation depending on the origin of the species: 0.63% for Mediterranean (Navarro-González *et al.*, 2015) and 5.8% for Polish (Jakubczyk *et al.*, 2018). Water content was relevant in the food composition. In general, moisture content is an important factor that directly affects nutritional content, helps in the digestion and absorption of food and, above all, is an index to the freshness of a green leaf plant (Zihad *et al.*, 2019).

With respect to the nutritional compounds, the crude protein content prevailed in *C. album* L. and *D. eruroides* (L.) DC, raw fiber prevailed in *C. album* L. and *T. majus* L., and carbohydrates were dominant in *T. majus* L. and *S. media* L.

The nutrient profile studied by Tardío *et al.* (2016) in *C. album* L. was 2.74% (protein), 6.38% (fiber), 0.63% (lipid), and 5.89% (carbohydrate). In the same order in *S. oleraceus* L., the corresponding figures were 2.22%, 3.37%, 0.60% and 2.29%. Both samples came from different Mediterranean areas, although Spanish samples were predominant. For *D. eruroides* L. from Foggia Province (Italy), the protein value was 3.5%, significantly exceeding that established in this study (Disciglio *et al.*, 2017). *S. media* studied in this research was compared with *S. vulgaris*, a Mediterranean wild edible species of the same family. For *S. vulgaris* the nutritional value corresponded to protein 2.47%, fiber 4.36%, lipids 0.67%, and carbohydrate 2.32% (Tardío *et al.*, 2016). Except for the carbohydrate, other parameters significantly exceeded those found in this study.

The nutritional value for leaves of the Brazilian *T. majus* L. corresponded to protein 3.32%, lipids 1.52% and carbohydrates 8.33% (Silva *et al.*, 2018). These parameters are significantly higher values than those obtained in this study. According to Pearson (1976), plant food that provides more than 12% of its caloric value from protein is considered a good source of protein. The studied plants are not an abundant resource in meeting the protein sources that are required by the local people. The lipid content is slightly lower than the reported values (0.63-0.70%) in the same species from other Mediterranean areas (Tardío *et*

al., 2016). However, it is greater in the *T. majus* L. leaves than their flowers. The five species of this study corroborated appreciation that vegetables are considered a minor source of lipids. Dietary fiber is the essential vegetable macronutrient consumed by humans in a normal balanced diet. Two studied species, *S. oleraceus* L. and *T. majus* L., have the highest portion of crude fiber within macronutrients. If compared with the range indicated by *Tardío et al.* (2016) for *S. oleraceus* from other Mediterranean areas, the value obtained in this study is within this range. The crude fiber for *T. majus* L. flowers, with 5.51 %, is similar in the leaves (*Navarro-González et al.*, 2015). In contrast, *S. media* L. showed the lowest fiber content among all, although it was very close to the fiber content in *E. vesicaria*, with 1.6 % (*Tardío et al.*, 2016). Three of the wild species included in this study have a prevalence of carbohydrates: *S. media* L., *C. album* L. and *D. eruroides* L. The carbohydrate content found in these species was even higher than in the Mediterranean plants *S. vulgaris* (2.32%), *C. album* L. (5.89%) and *E. vesicaria* (2.1%), reported by *Tardío et al.* (2016). The carbohydrates fraction of leaves is mainly integrated by simple sugars (fructose, glucose y sucrose), fructose being the most abundant monosaccharide detected in leaves (*Hounscome et al.*, 2008). The crude protein, fat, crude fiber, and carbohydrates content was considered close to the same species from other Mediterranean regions. These results may be due to similar edaphoclimatic conditions. All the species of the present study showed low caloric value, but with a high nutritional density, especially in minerals and fiber. Therefore, these plants can be recommended to low-caloric diets. The nutritional balance, characterized by high fiber and low fat content, indicates that all species studied can be a source of healthy foods (*Jimoh, et al.*, 2011).

For the five undervalued edible species of this study, the mean values of the minerals (macro and micro) that are important for human nutrition were reported. The nutritional power of the five undervalued species studied for their edible leaves lies in their great wealth in minerals. The variability found between the mineral levels is due to the different absorption capacity of each of them, since the environmental conditions were the same due to season and growth area. The most prominent element was potassium. *C. album* L. had a higher content than all. This value agrees with those reported by *Tardío et al.* (2016) for the same species from other Mediterranean areas. The *WHO* (2012) reports indicate that potassium content in the green vegetables most consumed per population is approximately 550.0 mg·100 g⁻¹ fw. All studied species exceed this level and *C. album* L. doubles it. The high potassium content makes plants recommendable in diets that require low sodium

content. This is even better if the relationship is less than one. The Na/K ratio in the body is a factor to consider in high blood pressure prevention. The all-edible unevaluated species of this study meet this condition (*Morrissey et al., 2020*).

Magnesium and calcium are regarded as two outstanding minerals. In a comparison with Mediterranean wild greens studied by other authors (*García-Herrera et al., 2014; Tardío et al., 2016; Jakubczyk et al., 2018*), magnesium reached quite a higher content level in the species presented here. *C. album* L. and *D. eruroides* L. stood out above all. A remarkable contrast of the magnesium content in the leaves of *C. album* L. postulates it as a promising source of the contribution of this cation through intake, so much so that 100 g of fresh leaf of *C. album* L. of the present study would cover the recommended daily dose of this element (around 320 mg/day, FAO/WHO recommendation). In the plant, magnesium has a direct impact on the absorption of solar energy, which in turn is used in the synthesis of carbohydrates and sugars (*Waterland et al., 2017*). The concentrations of the rest of the macronutrients (Ca, P and Na) are not highlighted in reference to the daily recommended contributions, except for *C. album* L. Its leaves are a rich source of calcium, the content of which may cover between 25-30% of the daily intake recommended by the FAO/WHO (1000 -1300 mg/day). Highlighting *C. album* L. as the species with the highest mineral concentration, the Chenopodeacea family is very competitive for nutrients and soil water (*Akbar Hussain et al., 2018*).

In addition, *C. album* L. showed iron content that approximates to the concentration of spinach with 2.7 mg·100 g⁻¹ fw (*Farrán et al., 2004*), which is lower than that found in *C. album* L. (5.29 mg·100 g⁻¹ fw) from other Mediterranean areas studied by *Tardío et al. (2016)*. However, considering the nutritional importance of iron, whose deficiency is related to anemia, by including these iron-rich greens in the daily diet, one can easily meet a reasonable amount of the daily requirement of this mineral from one serving. Zinc was the second most abundant micromineral in both *C. album* L. and *S. media* L. It is an especially important mineral to help facilitate normal function of the immune system (*Shankar & Prasad, 1998; Jakubczyk et al., 2018*), and for the maintenance of growth, development, and skeletal function (*Uwitonze et al., 2020*). The WHO/FAO considerer the leafy vegetables only modest sources of zinc, having a concentration of <10 mg/kg. The range 0.5-0.8 mg·100 g⁻¹ found in this study corroborates this consideration and allows us to suggest the analyzed plants as a potential supply source of this micronutrient. The copper content was relatively low and did not show significant differences between the analysed plants, except for *C.*

album L. Its concentration in this study is similar to that found in the *C. album* leaf (0.19 mg·100 g⁻¹) studied by *Tardío et al. (2016)*. During the plant growth stages and development, in biological processes, up to 17 key minerals are involved, which are transferred to human nutrition (*Waterland et al., 2017*). The intake of these minerals, which exist as natural organic complexes, is taken advantage of by the body. The analyzed species provide Fe, Cu and especially Zn, and the intake of their fresh leaves may contribute to covering parts of the recommended daily allowances of these micronutrients.

The effect of nitrates in the body is adverse, and the most important recommendations are aimed at reducing or mitigating the concentration of nitrates that arrive through intake, some through the consumption of fresh green leaves (*Raigón et al., 2016*). The content of nitrate in the five analysed species showed a different level, which allows them to be classified as follows: *D. eruroides* L. has a very low content of nitrates; *C. album* L. is low in content, and the other species are medium in content (*Moreno et al., 2015*). However, these nitrate levels make species safe for daily intake with no apparent risk to health, since they would hardly exceed the consumption recommendations of 3.65 mg of nitrates per kg of body weight (*Ekart et al., 2013*). In addition, the concentration of nitrates in vegetables varies according to climatic conditions and agronomic crop management, as well as post-harvest storage conditions (*Van Velzen et al., 2008*).

The acidity of the leaves is an attribute that directly influences taste perception. Only *D. eruroides* L. shows a pH lower than 6 (pH=5.72). This provides a slight acid nuance when chewing the fresh leaves, affecting the pleasant taste in the five species analyzed. Increasingly, scientific importance has been attached to food health. The consumption of different biological sources of antioxidants is suggested to avoid degenerative diseases. The species *T. majus* L. and *D. eruroides* L. present high levels of total antioxidants (without significant differences between them). In the study by *Arellano et al. (2015)*, in *T. majus* L., flowers were found to have a value of 3928.23 µM TE/g fw for antioxidants with the same DPPH technique. The levels of antioxidants found in the fresh leaves in this study exceed the amount in the flowers. The study carried out by *Disciglio et al. (2017)* for the leaves of *D. tenuifolia*, a relative of *D. eruroides* L. by DPPH technique, have reported an amount of 1373.8 mg TE/kg fw, which is lower than that found in this analysis for *D. eruroides* L. These comparisons allow us to affirm that the studied species enjoy a high antioxidant content, and therefore can serve as a valuable source, not yet appreciated, of these functional compounds.

The antioxidant activity in the food is closely related to the presence of components such as polyphenols. Their antioxidant activity depends on the chemical structures and their concentration in each food (*Silva et al., 2018*). Data obtained from studied plants showed the highest polyphenol contents, without wide variation between species. Italian samples *S. oleraceus* L. revealed lower phenolic contents (0.061 mg GAE/100 g) than Spanish samples in the study carried out by *Morales et al. (2014)*, which also estimated that this variability could be due to different climatic conditions, as well as genetic differences. *Silva et al. (2018)* highlighted total phenolic content for the leaves of the Brazilian *T. majus* L. (167.84 mg GAE/100 g), concluding that it presented one of the high values. On the other hand, the same species in this study widely exceeded this value. Additionally, as strong antioxidants, polyphenols are able to scavenge free radicals, processes involved in reducing the risk of cardiovascular diseases (*Kantadoung et al., 2018*). All the studied species present a prominent position, besides presenting the highest average level observed of this bioactive compound.

The chlorophylls have functional properties, among which is antioxidant activity (*Solymsi & Mysliwa-Kurdziel, 2017*); they also include magnesium in their chemical structure and form a complex with another microelement such as copper, facilitating its absorption (*Marquez & Sinnecker, 2007*). The benefits provided by chlorophylls are provided with the intake of fresh plants.

The highest chlorophylls content (a and b) corresponded to *S. oleraceus* L. and consequently the same trend was observed for total chlorophyll. The second species with a high chlorophyll's concentration was *C. album* L. In the rest of the species, the found values were lower. These photosynthetic pigments indicate the physiological plants state of fresh leaves as being their best sources. The age and anatomy of the leaves, as well as seasonal irradiance changes, influence the chlorophyll content that is related to nutrients' status by estimation (*Silla et al., 2010*). In addition, the high chlorophylls content contributes to increased antioxidant activity in plants (*Leite et al., 2017*). The fresh leaves of all the wild species analyzed in this study are rich in chlorophylls and could be considered a beneficial contribution to healthy food.

The analysis of fresh leaves' volatiles fraction showed great specificity of biosynthetic processes in nature. The benzenoids class prevailed in the species of this study, being a secondary metabolite produced under conditions of abiotic and biotic stress. Heat stress also potentiates the direct biosynthesis of benzenoids, and their release by leaves is greater than

by flowers (*Misztal et al., 2015*). There are still few systematic studies of benzenoides production by plants. The second major class turned out to be medium chain aldehydes arising from the metabolism of corresponding fatty acids. These provide smells such as fresh and waxy, established in leaves and in fruits (*Zanetti et al., 2021*). The most easily found is in animal species and in the lipid fraction of certain plants, affecting the gut microbiota by exerting inhibitory effects on bacteria ingestion. Effects on general and gut-associated immune function in animals have been described, but there are few studies on this function in humans (*Zentek et al., 2011*). The pirazines are generally considered a key family of taste and greater intensity for smell than exists in nature (*Leidinger, 2020*). This volatile family was found exclusively in *D. erucoides* L., which confers to this species a certain spicy flavor. Finally, other volatile compounds families such as monoterpenes, ketones and fatty alcohols were found in all species in very defined proportions, which contribute a particular and specific aroma for each. This view can be expounded by the genetic factor of each species, because the edaphoclimatic conditions were the same for all plants (autumn-winter season).

Thus, the results of the food parameters' quality should be deepened to include better knowledge of these five undervalued edible species. Moreover, new studies focused on relating the chemical analysis of volatile aroma suggested in this work, as well as sensory attributes, may help to clarify the peculiar taste of each studied species.

The PCA makes it possible to relate parameters to each other, such as mineral content, where magnesium stands out, which in turn is related to the content of chlorophylls, carbohydrates and crude fiber. The high levels of these parameters correspond to the typification of the fresh edible leaves of *Chenopodium album* L.

Conclusions

This research allows us to conclude that the five undervalued species inherent in the autumn-winter period of the Valencian coast are nutritious foods that provide nutrients and bioactive compounds necessary for the normal functioning of the body and to maintain good health.

It was found that the nutrient composition in all the selected species was different. Some plants contained a large amount of fiber, while others contained a greater amount of carbohydrates. Neither showed a good source of protein or lipids. *D. erucoides* (L.) DC was shown to be rich in magnesium, while in calcium content, *T. majus* L. and *S. oleraceus* L. stood out. *C. album* L. was found to have the highest level of these minerals, as well as the

highest level of potassium among all other species. The amount of sodium in all was very low, so it can be postulated that these plants would be good in diets that require low sodium content. The species were shown to be a potential source of the microelement's Fe and Cu, highlighting their content in *C. album* L. We need to underline that all species are a rich source of zinc, which is responsible for many metabolic functions in the human body. All species include various bioactive components such as antioxidants, polyphenols and chlorophylls. *S. oleraceus* L. and *T. majus* L. stand out for their high level of chlorophylls. Also, to our knowledge, this is the first report to assess the volatiles profile that determines the aromatic characteristics of these plants.

Increasing the consumption of foods of local plant origin, among which are the undervalued species of edible leaf, helps to sustain a healthy diet that provides health benefits and rescues the quality of traditional products. Other important aspects provided by the undervalued species of edible leaf are the taste and smell of gastronomic preparations.

REFERENCES

- Aedo C, Medina L, Fenandez-Albert M. 2013.** Species richness and endemicity in the Spanish vascular flora. *Nordic Journal of Botany*, **31(4)**: 478-488. DOI [10.1111/j.1756-1051.2012.00009.x](https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2012.00009.x)
- Alvarez MA. 2019.** *Pharmacological properties of native plants from Argentina*. Springer International Publishing. Switzerland, 255 pp. DOI [10.1007/978-3-030-20198-2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20198-2)
- AOAC. 2005.** Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists. 18th ed. Association of Official Analytical Chemist (AOAC International), Washington DC, USA.
- Arellano LK, Herrera RJ, Quispe SM, Espinosa SC, Veliz SN, Orihuela VW. 2015.** Evaluación de los compuestos fenólicos y actividad antioxidante de tres colores de pétalos de mastuerzo (*Tropaeolum majus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, **81(4)**: 319-327.
- Akbar Hussain E, Sadiq Z, Zia-Ul-Haq M. 2018.** Sources of Betalains. In: *Betalains: Biomolecular Aspects*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95624-4_2
- Avato P. & Argentieri MP. 2015.** Brassicaceae: a rich source of health improving phytochemicals. *Phytochem Rev.*, **14**, 1019-1033. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9414-4>
- Ballesta M, Negre M. 2018.** Seguiment i utilitats de la flora arvense observada en els Horts Municipals Ecològics de Platja d'Aro. *Estudis del Baix Empordà*, **37**:33-45.
- Bell L, Wagstaff C. 2019.** Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species. *Food chemistry X*, **1**, 100002. DOI [10.1016/j.fochx.2018.100002](https://doi.org/10.1016/j.fochx.2018.100002)
- Bennett RN, Rosa EA, Mellon FA & Kroon PA. 2006.** Ontogenic profiling of glucosinolates, flavonoids, and other secondary metabolites in *Eruca sativa* (salad rocket), *Diplotaxis erucoides* (wall rocket), *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket), and *Bunias orientalis* (Turkish rocket). *Journal of agricultural and food chemistry*, **54(11)**, 4005-4015.
- Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. 1995.** Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, **28(1)**:25-30. DOI [10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brondani JC, Cuelho CHF, Marangoni LD, de Lima R, Guex CG, Bonilha IF, Manfron MP. 2016.** Traditional usages, botany, phytochemistry, biological activity and toxicology of

- Tropaeolum majus* L.-A review. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, **15(4)**:264-73.
- Chen L, Teng H, Cao H. 2019.** Chlorogenic acid and caffeic acid from *Sonchus oleraceus* Linn synergistically attenuate insulin resistance and modulate glucose uptake in HepG2 cells. *Food and Chemical Toxicology*, **127**:182-187. DOI 10.1016/j.fct.2019.03.038
- Chidrawar VR, Patel KN, Sheth NR, Shiromwar SS, Trivedi P. 2011.** Antiobesity effect of *Stellaria media* against drug induced obesity in Swiss albino mice. *Ayu*, **32(4)**, 576. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/384204>
- De Cortes Sánchez-Mata M, Tardío J.** (Eds.). 2016. *Mediterranean wild edible plants: ethnobotany and food composition tables*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, p 478 DOI 10.1007/978-1-4939-3329-7
- Del Vitto LA, Petenatti EM, Petenatti ME. 1998.** Recursos herbolarios de San Luis (Argentina). Segunda parte: plantas exóticas cultivadas, adventicias y/o naturalizadas. *Multequina*, **7**:29-48.
- Disciglio G, Tarantino A, Frabboni L, Gagliardi A, Giuliani MM, Tarantino E, Gatta G. 2017.** Qualitative characterisation of cultivated and wild edible plants: Mineral elements, phenols content and antioxidant capacity. *Italian Journal of Agronomy*, **12(4)**:383-394. DOI 10.4081/ija.2017.1036
- Ekart K, Hmelak Gorenjal A, Madorran E, Lapajne S, Langerholc T. 2013.** Study on the influence of food processing on nitrate levels in vegetables. *EFSA Supporting Publications*, **10(12)**, 514E. DOI 10.2903/sp.efsa.2013.EN-514
- Farrán A, Zamora R, Cervera P. 2004.** *Tablas de composición de los alimentos del CESNID. Edicions Universitat de Barcelona*. Barcelona: McGraw-Hill Interamericana. p.247
- García-Herrera P, Sánchez-Mata MC, Cámara M, Fernández-Ruiz V, Díez-Marqués C, Molina M, Tardío J. 2014.** Nutrient composition of six wild edible Mediterranean Asteraceae plants of dietary interest. *Journal of Food Composition and Analysis*, **34(2)**, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.02.009>
- García-Herrera P, Morales P, Cámara M, Fernández-Ruiz V, Tardío J, Sanchez-Mata MC. 2020.** Nutritional and phytochemical composition of Mediterranean wild vegetables after culinary treatment. *Foods*, **9(12)**:1761. DOI 10.3390/foods9121761
- González-Turmo I, Medina F.X. 2012.** Retos y responsabilidades tras la declaración de la Dieta mediterránea como patrimonio cultural inmaterial de la Humanidad (UNESCO), in Cantarero, L. (ed.) *La antropología de la alimentación en España. Perspectivas actuales*. Barcelona, UOC (Universitat Oberta de Catalunya).p 58.
- Hansmann E. 1973.** Pigment Analysis. In: Stein JR (ed.). *Handbook of phytochemical methods- Culture methods and Growth measurements*. London: Cambridge University Press, 359-368.
- Hounsome N, Hounsome B, Tomos D, Edwards-Jones G. 2008.** Plant Metabolites and nutritional quality of vegetables. *Journal of Food Science* **73(4)**: R49-R65. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00716.x>
- Iriti M, Varoni EM, & Vitalini S. 2020.** Healthy Diets and Modifiable Risk Factors for Non-Communicable Diseases—The European Perspective. *Foods*, **9(7)**, 940. <https://doi.org/10.3390/foods9070940>
- Jakubczyk K, Janda K, Watychowicz K, Lukasiak J, Wolska J. 2018.** Garden nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) a source of mineral elements and bioactive compounds. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, **69(2)**:119-126.
- Jimoh FO, Adedapo AA, Afolayan AJ. 2011.** Comparison of the nutritive value, antioxidant and antibacterial activities of *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus*. *Rec Nat Prod*, **5(1)**:29-42.
- Junior AG, Gasparotto FM, Lourenço ELB, Crestani S, Stefanello MEA, Salvador MJ, ... Kassuya CAL. 2011.** Antihypertensive effects of isoquercitrin and extracts from *Tropaeolum majus* L.: evidence for the inhibition of angiotensin converting enzyme. *Journal of ethnopharmacology*, **134(2)**: 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.12.026>

- Kantadoung K, Rachkeeree A, Puangpradab R, Sommano S, Suksathan R. 2018.** Nutritive values of some edible flowers found in northern Thailand during the rainy season. *Acta Hort.*, 1210: 263-72. DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1210.37
- Leidinger W. 2020.** ¿Por qué pica el ají?-Notas químicas sobre el ají. *Revista de Química*, **34(1-2)**, 22-25.
- Leite AC, Ferreira AM, Morais ES, Khan I, Freire MG, Coutinho JA. 2018.** Cloud point extraction of chlorophylls from spinach leaves using aqueous solution of nonionic surfactants. *ACS sustainable chemistry & engineering*, **6(1)**:590-599. DOI 10.1021/acssuschemeng.7b02931
- Marquez UML, Sinnecker P. 2007.** Chlorophylls: Properties, Biosynthesis. *Food colorants: Chemical and functional properties*. Ed. Carmen Socaciu, pp 25-45.
- Mbow C, Rosenzweig C, Barioni LG, Benton TG, Herrero M, Krishnapillai M, Waha K. 2019.** Food Security. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, eds. P.R. Shukla, et al. Chapter 5, Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 437-550.
- Misztal PK, Hewitt CN, Wildt J, Blande JD, Eller AS, Fares S, ...Goldstein AH. 2015.** Atmospheric benzenoid emissions from plants rival those from fossil fuels. *Scientific Reports*, **5(1)**:1-10. DOI 10.1038/srep12064
- Montesinos D, Otto R, Fernández Palacios JM. 2009.** 9560 Bosques endémicos de *Juniperus* spp. In: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. 84 pp.
- Morales P, Ferreira IC, Carvalho AM, Sánchez-Mata MC, Cámara M, Fernández-Ruiz V, ... & Tardío J. 2014.** Mediterranean non-cultivated vegetables as dietary sources of compounds with antioxidant and biological activity. *LWT-Food Science and Technology*, **55(1)**, 389-396. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.017>
- Moreno E, Fita A, González-Mas MC, Rodríguez-Burruezo A. 2012.** HS-SPME study of the volatile fraction of Capsicum accessions and hybrids in different parts of the fruit. *Scientia Horticulturae*, **135**:87-97. DOI 10.1016/j.scienta.2011.12.001
- Moreno B, Soto K, González D. 2015.** El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. *Revista chilena de nutrición*, **42(2)**: 199-205.
- Morrissey E, Giltinan M, Kehoe L, Nugent AP, McNulty BA, Flynn A, Walton J. 2020.** Sodium and potassium intakes and their ratio in adults (18–90 y): findings from the Irish national adult nutrition survey. *Nutrients*, **12(4)**:938. DOI 10.3390/nu12040938
- Murthy HN, Paek KY. 2020.** Health Benefits of Underutilized Vegetables and Legumes. In: Murthy N.H., Paek K.Y.(eds) *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*, Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. DOI 10.1007/978-3-030-44578-2_1-1
- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A. B., & Periago, M. J. 2015.** Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, **16(1)**, 805-822. <https://doi.org/10.3390/ijms16010805>
- Nengroo ZR, Rauf A. 2021.** Fatty acid composition and antioxidant activity of Angelica glauca and Chenopodium album seed extracts from Kashmir. *Grasas y Aceites*, **72(1)**:e393-e393. DOI 10.3989/gya.1149192
- Panfili G, Niro S, Bufano A, D'Agostino A, Fratianni A, Paura B, ... & Cinquanta L. 2020.** Bioactive compounds in wild Asteraceae edible plants consumed in the Mediterranean diet. *Plant Foods for Human Nutrition*, **75(4)**, 540-546. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00842-y>
- Pearson, D. 1976.** The chemical analysis of foods. 7th ed. Churchill Livingstone. London. p 450.
- Peerzada AM, O'Donnell C, & Adkins S. 2019.** Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). *Acta physiologiae plantarum*, **41(8)**, 1-17.
- Poonia A. & Upadhayay A. 2015.** *Chenopodium album* Linn: review of nutritive value and biological properties. *J Food Sci Technol*, **52**, 3977–3985. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1553-x>
- Raigón MD, Barbera N, Zornoza J, García MD. 2016.** Influencia de factores en el contenido en nitratos en cultivos de acelgas y espinacas ecológicas. Actas del XII Congreso de SEAE: Las

- leguminosas: clave en la gestión de los agrosistemas y en la alimentación ecológica. Lugo. 527-534.
- Rodríguez LGG, Perea JM, Anta RMO. 2015.** Los alimentos funcionales en el contexto de la dieta mediterránea. *Mediterráneo económico*, **27**:139-160.
- Rotherham, ID. 2015.** Bio-cultural heritage and biodiversity: emerging paradigms in conservation and planning. *Biodiversity and conservation*, **24(13)**, 3405-3429. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1006-5>
- Ros RZ, Gonzalez CA. 2020.** El impacto de la dieta en la salud: avances recientes en epidemiología nutricional. *Métode: Revista de difusión de la Investigación*, **3(106)**:40-47.
- Sans FX & Masalles RM. 1994.** Life-history variation in the annual arable weed *Diploaxis erucoides* (Cruciferae). *Canadian Journal of Botany*, **72(1)**, 10-19.
- Solymosi K, Mysliwa-Kurdzie B. 2017.** Chlorophylls and their derivatives used in food industry and medicine. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, **17 (13)**:1194-1222(29). DOI: [10.2174/1389557516666161004161411](https://doi.org/10.2174/1389557516666161004161411)
- Shankar AH, Prasad AS. 1998.** Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *The American journal of clinical nutrition*, **68(2)**, 447S-463S <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.2.447S>
- Silla F, González-Gil A, González-Molina M, Mediavilla S, Escudero A. 2010.** Estimation of chlorophyll in Quercus leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of Forest Science*, **67(1)**:108. DOI [10.1051/forest/2009093](https://doi.org/10.1051/forest/2009093)
- Silva LFL, Souza DC, Resende LV, Nassur RCMR, Samartini CQ, Gonçalves WM. 2018.** Nutritional evaluation of non-conventional vegetables in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **90**, 1775-1787. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170509>
- Soutullo EC, Muñoz CF, Pazó RM, Alonso RM, Boente MJR. 2015.** Hierbas medicinales: uso en la cultura gallega. *Revbigo*, **6**:105-112.
- Stokes P, & Rowley-Conwy P. 2002.** Iron Age cultigen? Experimental return rates for fat hen (*Chenopodium album* L.). *Environmental Archaeology*, **7(1)**, 95-99.
- Tanús AS, Maya EMA, Serrano CR & Morales H. 2019.** Food species of collection and culinary culture: biocultural heritage of the popoloca community Todos Santos Almolonga, Puebla, Mexico. *Nova scientia*, **11(23)**, 296-342. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1772>
- Tardío J, de Cortes Sánchez-Mata M, Morales R, Molina M, García-Herrera P,... Boussalah N. 2016.** Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants. In: Sánchez-Mata M., Tardío J. (eds) *Mediterranean Wild Edible Plants*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_13
- Uwitonze AM, Ojeh N, Murrerehe J, Atfi A, Razzaque MS. 2020.** Zinc adequacy is essential for maintenance of optimal oral health. *Nutrient*, **12(4)**:949. DOI [10.3390/nu12040949](https://doi.org/10.3390/nu12040949)
- Van Velzen AG, Sips AJ, Schothorst RC, Lambers AC, Meulenbelt J. 2008.** The oral bioavailability of nitrate from nitrate-rich vegetables in humans. *Toxicology letters*, **181(3)**, 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.07.019>
- Vilela FC, Bitencourt AD, Cabral LD, Franqui LS, Soncini R, Giusti-Paiva A. 2010.** Anti-inflammatory and antipyretic effects of *Sonchus oleraceus* in rats. *Journal of ethnopharmacology*, **127(3)**:737-741. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.11.030>
- Vos T, Lim SS, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi M, Abbasifard M,...Bhutta ZA. 2020.** Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, **396(10258)**:1204-1222. DOI [10.1016/S0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9)
- Wagner KH & Brath H. 2012.** A global view on the development of non communicable diseases. *Preventive medicine*, **54**, S38-S41. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.11.012>
- Waterland NL, Moon Y, Tou JC, Kim MJ, Pena-Yewtukhiw EM, Park S. 2017.** Mineral content differs among microgreen, baby leaf, and adult stages in three cultivars of Kale. *HortScience*, **52(4)**:566-571. DOI [10.21273/HORTSCI11499-16](https://doi.org/10.21273/HORTSCI11499-16)
- WHO. World Health Organization. 2012.** Guideline: Potassium intake for adults and children. Geneva. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504836>

- Zanetti F, Alberghini B, Jeromela AM, Grahovac N, Rajković D, Kiprovski B, Monti A. 2021.** Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **41(2)**:1-18. DOI [10.1007/s13593-020-00663-y](https://doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y)
- Zentek J, Buchheit-Renko S, Ferrara F, Vahjen W, Van Kessel AG, Pieper R. 2011.** Nutritional and physiological role of medium-chain triglycerides and medium-chain fatty acids in piglets. *Animal Health Research Reviews*, **12(01)**:83-93. DOI [10.1017/S1466252311000089](https://doi.org/10.1017/S1466252311000089)
- Zihad SNK, Gupt Y, Uddin SJ, Islam MT, Alam MR, Aziz S,...Sarker SD. 2019.** Nutritional value, micronutrient and antioxidant capacity of some green leafy vegetables commonly used by southern coastal people of Bangladesh. *Heliyon*, **5(11)**: e02768 DOI [10.1016/j.heliyon.2019.e02768](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02768)

IV.3. CAPÍTULO 3: PERFILES VOLÁTILES DE LAS SIETE PLANTAS SILVESTRES INFRAVALORADAS

PUBLICACIÓN 3:

Assessment of the Volatile Profiles and Identification of Differentiating Aromas of Wild Undervalued Plants

Tamara Fukalova Fukalova¹, Estela Moreno-Peris², María Dolores García-Martínez², María Dolores Raigón Jiménez^{2*}

¹Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Fitoquímica y Productos Biológicos. Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador

²Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana. Universitat Politècnica de València, Valencia-Spain

ORIGINAL RESEARCH
published: 08 July 2022
doi: 10.3389/fnut.2022.912680



Frontiers in Nutrition



OPEN ACCESS

Edited by:

~~Marta Ladányi~~

Hungarian University of Agricultural and Life Sciences, Hungary

Reviewed by:

Delphine Maya Pott,

University of Malaga, Spain

Abhishek Kumar Dwivedy,

Banaras Hindu University, India

*Correspondence:

María Dolores Raigón Jiménez
mdraigon@qim.upv.es

Specialty section:

This article was submitted to
Nutrition and Food Science

Technology,
a section of the journal
Frontiers in Nutrition

Received: 04 April 2022

Accepted: 24 May 2022

Published: 08 July 2022

Citation:

~~Fukalova Fukalova~~ T, Moreno-Peris E,
García-Martínez MD and Raigón
Jiménez MD (2022) Assessment of
the Volatile Profiles and Identification
of Differentiating Aromas of Wild
Undervalued Plants.
Front. Nutr. 9:912680.
doi: 10.3389/fnut.2022.912680

Abstract

Wild edible plants have played an important role in traditional diets, including the Mediterranean diet. Many of these plants have acquired an undervalued status, since they are under-appreciated in terms of their nutritional, organoleptic qualities, or their seasonality. However, some of these species are still used in local gastronomy for their aromatic and taste characteristics. This study has investigated the quantitative and qualitative aromatic characteristics of seven undervalued wild plants that determine their organoleptic characteristics. Volatiles of the fresh leaves of each species have been determined by head-space solid-phase microextraction, a sensitive and solvent-free technique, coupled with gas chromatography and mass spectrometry. A total of 37 compounds with remarkable quantitative and qualitative differences were identified. In general, benzenoids and monoterpenoids were the most abundant groups, while branched unsaturated hydrocarbons, fatty alcohols, and sesquiterpenoids were the minor groups. Benzyl nitrile, benzyl isothiocyanate, p-cymene, and 2-hexenal were the main individual volatiles, while benzyl alcohol, eugenol, and α -copaene were the differentiating aromas. The results display that the undervalued species studied could be a suitable choice to include as new environmentally friendly crops, providing a double benefit to producers, because they are a possible way to achieve sustainable production systems, and they are an alternative for consumers, because these plants provide flavors that have high organoleptic qualities.

Keywords: volatile profiles, differentiating aroma, undervalued species, organoleptic qualities, seasonality

INTRODUCTION

Many wild edible plants are characteristic of their seasonality, and local populations value these plants for their organoleptic properties. Traditionally, in the Mediterranean area, wild plants are used as food sources and condiments in the preparation of local dishes, for their aroma and flavor imparted by volatile constituents. They are well adapted to local growth conditions due to their resistance to climatic changes, which can be useful for alternative sustainable crops that bring new flavors and aromas. Furthermore, wild plants are very rich in fiber, minerals, vitamins, polyphenols, and antioxidants (1–3). Several studies confirm the nutritional and functional quality of wild plants, which is why they are appreciated in regional cuisines (4–6). The ways of using the plants depend on local traditions: They can be used fresh (salads) or cooked (soups and stews); alone or in combination with other species (7–10).

These diverse Mediterranean food traditions are part of the intangible cultural heritage that must be preserved in the face of modern lifestyles and a poorly differentiated diet (11, 12). Safeguarding traditional culinary knowledge could help reduce food poverty in the current climate emergency, promoting food security and increasing the value of local resources, as well as diversifying diets that are beneficial for health. When used fresh, the most useful parts of the plant are the leaves and flowers, which stand out because of their organoleptic characteristics. These characteristics include the visual appearance, the textures, and the aromatic profile, the main sensory attributes by which wild edible plants are valued. In general, the taste and smell continue to be powerful determinants of food selection, and consumers rank these elements as their main reason for choosing a food (13). The principal constituents of the sensory profiles are volatile compounds that enhance aroma and flavor, having a considerable impact as quality parameters and consumer preferences (14). Among the factors that influence the concentration of these volatile organic compounds (VOCs) are the genetic diversity of species and environmental conditions (15). All plants emit volatile compounds that are species-specific and are involved in certain ecological interaction, providing adaptive characteristics under strong environmental selection (14, 16, 17). Volatile compounds are synthesized mainly by chemical or enzymatic pathways, accumulating in plant organs such as leaves (18), flowers (19), or fruit (20). Currently, more than 1,700 volatile compounds have been identified from more than 90 plant families, constituting approximately 1% of all known plant secondary metabolites (21, 22). Each volatile compound is characterized by an odor threshold, so even if the qualitative composition of different samples is almost the same, the aroma may vary when relative proportions are dissimilar (23).

The differentiating aroma of each plant makes them attractive for harvesting and depends on the season. The wide varieties of volatile aromatic constituents are usually studied with principal attention given to antimicrobial and antioxidant activity, among other things (22, 24–28). Besides this, the review article by Goto et al. (29) highlights that the consumption of several wild plants also provides improvements in certain conditions, such as diabetes mellitus, hyperlipidemia, and cardiovascular diseases, because they contain many bioactive phytochemicals, especially terpenoids. These phytochemicals constitute some of the largest families of natural products that have a beneficial effect on health. Therefore, the relationship between diet and health could be considered a fundamental factor for healthy nutrition and well-being, while the aromatic profile could act as a stimulus for this synergy (13, 30). In addition, supported by broad health benefits, interest in this area continues to help to identify undervalued species as potential crop sources, as they may represent an underexploited source of new sustainable crops (31, 32).

Despite extensive culinary uses, there is little information on the aroma compounds of wild edible plants that add organoleptic quality to food sources. Determination of these volatile compounds from wild edible species has acquired momentum in recent years, mainly due to their bioactivities that remain intact when consumed fresh. The identification of certain constituents could make it possible to establish the qualitative indicators of the organoleptic characteristics and the optimal state of harvest of the undervalued species. According to (33), these selected plants have cultural relevance and are deeply rooted in the traditional cuisine of the Valencian coast. As far as we know, there are few works describing these characteristics, and we have not found any report analyzing the volatile profiles of the wild edible plants described in this study. For this reason, the focus has been on highlighting the organoleptic value of these species. More specifically, the aim of this study was to evaluate and compare the aromatic profiles of seven undervalued edible plants that form part of biocultural diversity and regional culinary traditions (34). To meet this global objective,

the research process was (a) to select the undervalued edible plant species potentially used for consumption in the study area according to seasonality; (b) to identify the organoleptic matrix, such as the volatile profiles, to find the differentiating aroma and flavor characteristics of each species; and (c) to recognize qualitative–quantitative differences and similarities between the volatile profiles. The plants selected in the study were *Portulaca oleracea* L. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., which relate to the spring–summer season; *Stellaria media* (L.) Vill, *Tropaeolum majus* L., *Sonchus oleraceus* L., *Chenopodium album* L., and *Diplotaxis erucoides* (L.) DC relate to the autumn–winter season. Their volatile profiles were evaluated by the combined techniques of solid-phase microextraction (SPME) and integrated gas chromatography by a mass spectrophotometer (GC-MS). This technique was chosen for not involving temperatures that affect the stability of volatile compounds and allowing the unalterable metabolites of the aromatic profiles to be known.

The identification of the volatiles in the seven undervalued plants is intended to be a precedent to assist advances in the inclusion of these plants in cuisines, as an alternative to conventional vegetables, to diversify the intake of a balanced and healthy diet. At the same time, identification of the volatile compounds could provide a better understanding of the organoleptic effect on the particular flavor of each species with a wide presence in the corresponding season and promote traditional gastronomy. This study may also guide the future commercial exploitation of these species, not only as alternative food sources and crops in agronomic innovations, but also as an aid in making informed decisions on the collection and standardization of quality parameters.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material

The seven edible undervalued plants were selected as plant material from different botanical families. The species corresponded to the wild population and were collected during two growing seasons in 2020. The replicates harvested were collected on the same day, expanding the geographic diversity but not the temporal one, so as not to include new variables in the study. The aerial parts of fresh samples were visually inspected before sampling, and only intact and healthy plants were collected, with the assistance of the Ecological Cooperative in the rural environment areas of the coast of the province of Valencia (Spain). The area is located within 39°45'13" North and 0°12'21" West, with SCI code ES0000148 (35). A brief description of each plant is summarized in **Figure 1**.

The undervalued species with abundance in their respective season appear spontaneously and present as weeds. Samples of these fresh plants were manually cleaned to remove soil particles, and whole leaves were selected for analysis.

Sample preparation

The extraction of volatile compounds without the addition of solvents has been successfully used in plant materials. Groups of plant material (leaves) of each species were collected, chopped, and stored at –80°C prior to gas chromatography–mass spectrometry as independent biological replicates. About 1.5 mg of each leaf sample was introduced into a hermetically sealed 22 mL vial, and it was incubated at 40°C for 30 min.

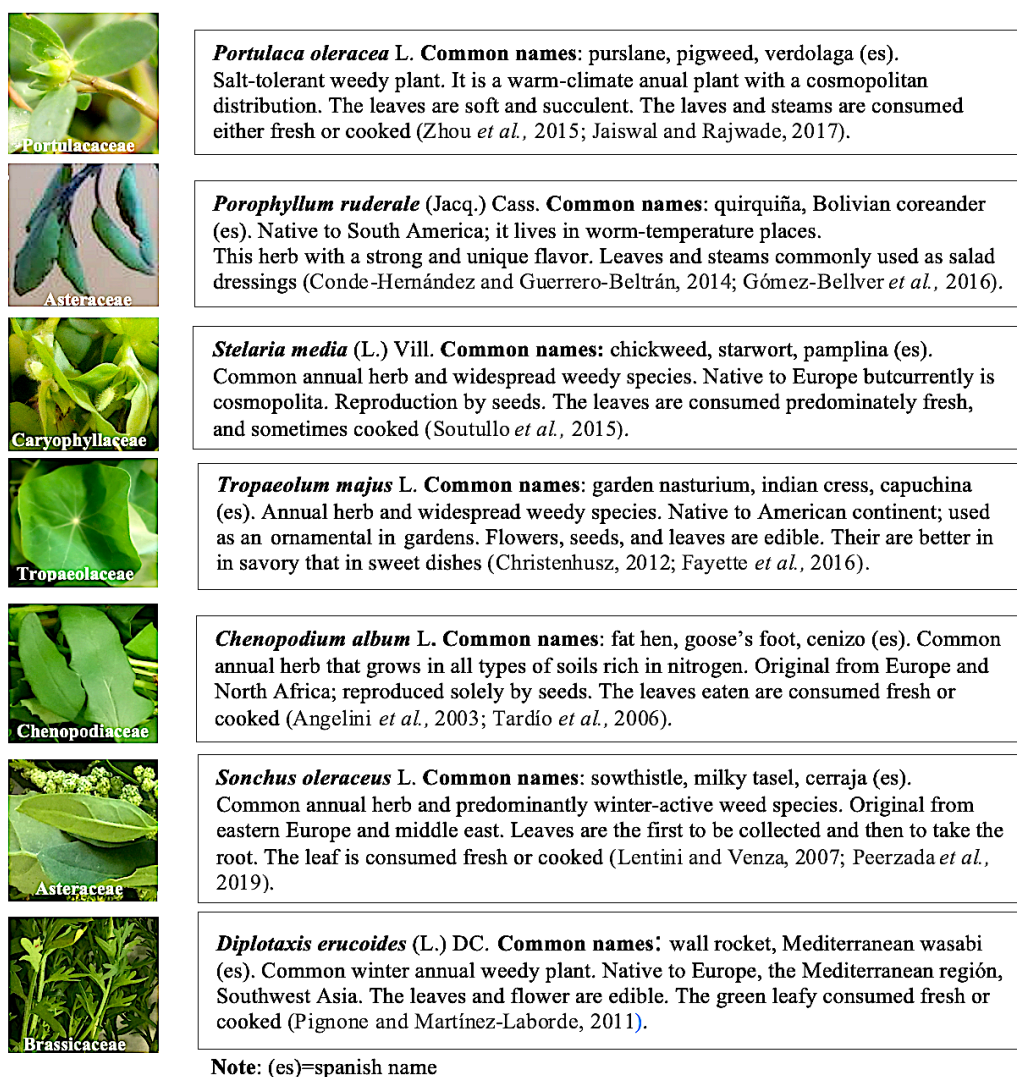


FIGURE 1. Botanical families and a brief description of the seven wild edible species selected for study.

Extraction of volatiles

Isolation of volatile constituents was performed by a head-space solid-phase microextraction (HS/SPME) technique. SPME Fiber Assembly, 65 μm PDMS/DVB Stableflex (Supelco, Bellefonte, PA, USA), was used to collect and concentrate the aroma compounds. Before the samples were loaded, the fiber was inserted into a GC injector (270°C) and held for 1 h, according to (36). After a 40 min equilibration period at 40°C, the fiber was inserted into the incubated vial splitless mode at 250°C for 30 s in the gas chromatograph injection port.

Volatile profile analysis

The analysis of volatiles was performed by 6890 N gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS), networked to a 59,73 Inert Mass Selective Detector (Agilent Technologies; Santa Clara, CA, USA). The analytical conditions were as follows: stationary phase HP-5MS J&W silica capillary column (30 m \times 0.25 mm i.d. \times 0.25 μm thickness film; 5%-phenyl-95% methylpolysiloxane); helium carrier gas at a constant flow of 1 mL \cdot min $^{-1}$; transfer line was maintained at 220°C. Initial temperature (40°C) was maintained for 1 min, Ramp 1 from 5°C min $^{-1}$ up to 200°C for 1 min $^{-1}$, and Ramp 2 from 15°C min $^{-1}$ up to 250°C for 3 min. The electron impact mode with ionization energy of 70 eV (source temperature 225°C)

was used for detection by the mass spectrometer, and the acquisition was performed in scan mode (mass range m/z 35–350 amu). MSD ChemStation E.02.02.1431 (Agilent Technologies) was used to perform chromatograms and mass spectra. Fiber cleaning between samples was 5 min at 250°C.

Determination of volatiles

The identification of volatiles took place by combining two different aspects: a comparison of their mass spectra and GC retention time with commercial standards (RS, Sigma-Aldrich Co, Taufkirchen, Germany) and the matching degree in the NIST 2017 Mass Spectral library. Finally, for quantification, a total ion current chromatogram (TIC) was employed to integrate the peak area of each compound, similar to other previous works (37, 38). In this work, the compounds considered as identified are those whose mass spectrum shows a height matching the NIST library (>80%), or according to the available standards.

Statistical analysis

Three replicates were used to obtain the mean values for the levels of volatile compounds and the content of each one. Relative abundances for individual compounds were also calculated as the ratio between the GC-peak area against the added area of total volatiles identified and expressed as percentages. The dependent variable defined the volatiles, and the independent variable was the species. The dataset was subjected to one-way analysis of variance (ANOVA). Significant differences were assessed by multiple comparisons of means (Tukey's contrast, with a confidence limit based on 95%, $p < 0.05$). The Statgraphics Plus version 5.1 (Manugistics Inc., Rockville, MD, USA) was used for statistics.

In addition, the dataset was also subjected to principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis by means of a web ClustVis tool developed with the R package version 0.10.2.1 for R statistic software, to evaluate the similarity and variation between samples.

RESULTS

Volatile Compounds Identified

The samples showed significant differences in their total levels of volatiles identified, and therefore, there was a considerable diversity in this trait. The analysis of volatiles yielded thirty-seven identified compounds, which were grouped into 11 chemical families, based on their structural characteristics. **Table 1** details the mean value of the GC-peak area of each volatile; it also includes the individual code and the identification method, the retention time, and the Kovats index, as well as the p -value (cutoff significance of $p < 0.05$).

The abundance of each chemical family and their respective components were calculated and reported in the peak area relative percentage (**Table 2**). In general, among eleven chemical families, benzenoids (I), monoterpenoids (II), and medium-chain aldehydes (III) were the majority, with eight volatile components in each of them. In the minority families, the lowest relative concentration was presented by pyrazines (IV), with three compounds, followed by fatty alcohols (VI), sesquiterpenoids (VIII), and organooxygen (IX), and with two compounds for each family. Only one volatile corresponded to the chemical families of alcohols (VII), unsaturated branched hydrocarbons (V), ketones (IX), and organosulfur compounds (X). Regarding the species, benzenoids were the dominant chemical families in *T. majus* (99.89%) and *D. erucoides* (99.48%). Monoterpenoids were abundant in *P. ruderale* (63.83%) and medium-chain aldehydes in *S. media* (50.77%).

TABLE 1. Mean values (GC-peak area unit x 10⁶) for individual volatile compound identified in the leaves of the seven undervalued species and levels of significance (*p*-value).

N°	Compounds name	Id	RT	RI	Peak area							p-value
					<i>T. majus</i>	<i>S. media</i>	<i>S. oleraceus</i>	<i>C. album</i>	<i>D. erucoides</i>	<i>P. oleracea</i>	<i>P. ruderale</i>	
1	dimethyl sulfide	MS	1.785	520	--	--	1.347a	--	--	--	0.166b	0.0061
2	1-butanol, 3-methyl	MS	3.501	736	--	--	1.039	0.183	--	0.677	--	0.4226
3	hexanal	RF	4.95	800	0.128d	13.975a	0.590c	0.718c	0.236d	0.054d	5.8b	0.0079
4	2-hexenal-E	MS	5.765	851	--	0.603	0.152	0.292	0.088	--	0.341	0.1252
5	2-hexenal	RF	5.923	854	0.367c	22.664a	6.558b	7.993b	3.142c	--	14.216b	0.0185
6	trans-2-hexenol	MS	6.285	862	--	4.564a	2.515b	0.149c	0.471c	--	--	0.0026
7	1-hexanol	RF	6.335	868	0.060d	13.893a	0.925c	4.015b	0.186c	0.158c	--	0.0019
8	2,4-hexadienal-(E,E)	MS	7.433	911	--	1.053b	0.242c	0.603c	--	--	3.876a	0.0098
9	benzaldehyde	MS	8.828	962	122.878a	4.179c	6.2c	4.914c	65.748b	0.588c	1.08c	0.0000
10	6-methyl-5-hepten-2-one	MS	9.636	986	0.070b	--	0.129b	0.204a	--	--	--	0.0234
11	β-myrcene	MS	9.754	991	0.066c	--	0.321b	--	--	--	37.531a	0.0218
12	2,4-heptadienal-(E,E)	MS	10.301	1012	1.479	12.612	3191,000	3.203	0.568	--	1,936	0.0659
13	α-terpinene	MS	10.503	1017	--	--	--	0.363b	--	--	45.746a	0.0140
14	p-cymene	MS	10.701	1025	--	0.196b	0.167b	0.176b	--	0.136b	98.929a	0.0018
15	d-limonene	RF	10.851	1030	0.024c	0.100c	0.260b	0.487a	--	0.156c	--	0.0018
16	1,8-cineole (eucalyptol)	RF	10.934	1032	0.052d	0.221b	--	0.137c	--	0.333b	0.458a	0.0052
17	benzyl alcohol	MS	11.123	1036	0.640	--	--	--	--	--	--	--
18	(E)-β-ocimene	MS	11.137	1049	--	--	--	--	--	--	3,88E+03	--
19	benzeneacetaldehyde	MS	11.302	1045	0.380d	0.554c	11.747a	1.420c	--	0.295c	2.451b	0.0000
20	(Z)-β-ocimene	MS	11.444	1038	0.105b	0.042c	0.267b	0.284b	--	0.079c	55.402a	0.0035
21	γ-terpinene	MS	11.775	1060	--	--	0.086b	0.052b	--	--	77.857a	0.0011
22	3,5-octadien-2-one, (E,E)	MS	12.131	1073	--	8.121	0.251	0.378	--	--	0.373	0.0853
23	2-isopropyl-3-methoxypyrazine	MS	12.835	1097	--	--	--	--	--	0.121	--	--
24	linalool	RF	12.992	1099	--	--	--	0.102b	--	1.178a	--	0.0093
25	nonanal	RF	13.109	1104	0.689b	0.505b	0.102b	0.079c	0.041c	--	0.941a	0.0337
26	benzyl isocyanate	MS	13.658	1131	35.730a	--	--	--	0.463b	--	--	0.0053
27	benzyl nitrile	MS	14.137	1144	19.302b	0.467c	0.212c	0.199c	1861.725a	--	0.482c	0.0000
28	2,6-nonadienal-(E,Z)	MS	14.547	1155	0.060	1.709	0.083	0.065	--	--	0.112	0.0794
29	2-sec-butyl-3-methoxypyrazine	RF	15.116	1175	--	0.127c	0.128c	--	3.839a	1.463b	--	0.0000
30	2-isobutyl-3-methoxypyrazine	MS	15.349	1183	0.208b	--	--	--	0.216b	0.327b	0.639a	0.0073
31	decanal	RF	16.071	1206	0.061c	0.280b	0.020c	0.019c	0.013c	--	15.115a	0.0012
32	β-cyclocitral	MS	16.515	1220	0.167b	3.470a	0.257b	0.282b	0.205b	0.072b	0.244b	0.0016
33	eugenol	MS	20.223	1357	--	--	--	--	--	--	0.743	--
34	benzy isothiocyanate	MS	20.435	1364	3507.83a	0.570c	0.826c	2.689c	55.277b	0.063c	0.806	0.0000
35	α-copaene	MS	20.757	1376	--	--	--	--	--	--	0.992	--
36	β-caryophyllene	RF	21.901	1419	0.229b	0.067c	0.052c	0.060c	0.031d	--	7.447a	0.0018
37	trans-β-ionone	MS	23.503	1486	0.499b	11.252a	0.598b	0.736b	1.278b	0.134b	1.436b	0.0004

N°: consecutive number; Code: coding of each volatile components; Id: identification method (RF=reference commercial standard, MS=comparison of mass spectrum with NIST library); RT: Retention time (min); RI: Kovats Retention index; (a-d) letters indicate significant differences (*p*< 0.05)

The comparison of volatile compounds is presented in the leaves, and it showed that volatiles such as benzaldehyde (BZ), benzeneacetaldehyde (BC), benzyl isothiocyanate (BT), hexanal (HA), trans-β-ionone (IO), and β-cyclocitral (CC) were present in all species; some volatiles were present only in one species, being considered differentiating aromas. In *T. majus*, the differentiating aroma was benzyl alcohol (BA); in *P. ruderale*, it was eugenol (EU), α-copaene (CO), and (E)-β-ocimene (OC); in *P. oleracea*, it was 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (IP); benzylisocyanate (BI) was found only in the species *T. majus* and *D. erucoides*. The relative content of each chemical family, including the respective individual volatiles, is summarized in **Figure 2**.

Tropaeolum majus L (Tropaeolaceae).

It was possible to identify a total of 22 volatile metabolites in this specie, most of them belonging to the benzenoids chemical family, followed by medium-chain aldehydes (0.07%). The principal volatile constituent was benzyl isothiocyanate (BT, 95.04%). The differentiating aroma found only in this species was benzyl alcohol (BA, 0.02%).

TABLE 2. Mean relative abundances percentages (%) of chemical families and individual volatile compounds identified in the leaves of the seven undervalued species

		Relative percentage content (%)						
Chemical family/Compounds name	Code	<i>T. majus</i>	<i>S. media</i>	<i>S. oleraceus</i>	<i>C. album</i>	<i>D. erucoides</i>	<i>P. oleracea</i>	<i>P. ruderale</i>
I. Benzenoids		99.89	5.70	49.61	30.75	99.48	16.21	1.74
1	benzaldehyde	BZ	3.33	4.13	16.20	16.35	3.30	10.08
2	benzyl alcohol	BA	0.02	--	--	--	--	--
3	benzeneacetaldehyde	BC	0.01	0.55	30.70	4.72	--	5.06
4	benzyl isocyanate	BI	0.97	--	--	0.02	--	--
5	benzyl nitrile	BN	0.52	0.46	0.55	0.66	93.39	--
6	eugenol	EU	--	--	--	--	--	0.2
7	benzy isothiocyanate	BT	95.04	0.56	2.16	9.02	2.77	1.07
8	α -copaene	CO	--	--	--	--	--	0.26
II. Monoterpenoids		0.01	0.51	2.66	5.15	-	32.24	63.83
9	β -myrcene	MY	0.00	--	0.84	--	--	9.90
10	α -terpinene	AT	--	--	--	1.21	--	12.07
11	p-cymene	PC	--	0.19	0.44	0.58	--	2.33
12	d-limonene	LI	0.00	0.10	0.68	1.62	--	2.67
13	1,8-cineole (eucalyptol)	CI	0.00	0.22	--	0.46	--	5.70
14	(E)- β -ocimene	OC	--	--	--	--	--	1.02
15	(Z)- β -ocimene	OM	0.00	0.04	0.70	0.94	--	1.36
16	linalool	LN	--	--	--	0.34	--	20.18
III. Medium-chain aldehydes		0.07	50.77	28.59	43.42	0.20	0.93	11.17
17	hexanal	HA	0.00	13.81	1.54	2.41	0.01	0.93
18	2-hexenal-E	HE	--	0.60	0.40	0.98	0.00	--
19	2-hexenal	HX	0.01	22.39	17.14	26.82	0.16	--
20	2,4-hexadienal-(E,E)	HD	--	1.04	0.63	2.01	--	--
21	2,4-heptadienal-(E,E)	HP	0.04	12.46	8.34	10.66	0.03	--
22	nonanal	NN	0.02	0.50	0.27	0.26	0.00	--
23	2,6-nonadienal-(E,Z)	ND	0.00	1.69	0.22	0.22	--	--
24	decanal	DE	0.00	0.28	0.05	0.06	0.00	--
IV. Pyrazines		0.01	0.13	0.33	-	0.20	32.74	0.17
25	2-isopropyl-3-methoxypyrazine	IP	--	--	--	--	2.07	--
26	2-sec-butyl-3-methoxypyrazine	SB	--	0.13	0.33	--	0.19	25.07
27	2-isobutyl-3-methoxypyrazine	IB	0.01	--	--	--	0.01	5.60
V. Unsaturate hydrocarbons				0.22	0.17	--	--	20.54
28	γ -terpinene	TP	--	--	0.22	0.17	--	--
VI. Fatty alcohols		-	18.23	8.99	13.97	0.03	2.72	-
29	trans-2-hexenol	TH	--	4.51	6.57	0.50	0.02	--
30	1-hexanol	HL	0.00	13.72	2.42	13.47	0.01	2.72
VII. Alcohols				2.72	0.61	--	11.60	--
31	1-butanol, 3-methyl	BU	--	--	2.72	0.61	--	11.60
VIII. Sesquiterpenoids		0.02	11.19	1.70	2.67	0.06	2.30	3.34
32	β -caryophyllene	CP	0.01	0.07	0.14	0.20	0.00	--
33	trans- β -ionone	IO	0.01	11.12	1.56	2.47	0.06	2.30
IX. Ketones				0.66	1.27	--	--	0.10
34	3,5-octadien-2-one, (E,E)	OD	--	8.02	0.66	1.27	--	--
X. Organosulfur compound				3.52	--	--	--	0.04
35	dimethyl sulfide	DS	--	--	3.52	--	--	--
XI. Organooxygen compound		-	3.43	1.01	1.63	0.01	1.23	0.06
36	6-methyl-5-hepten-2-one	MH	0.00	--	0.34	0.68	--	--
37	β -cyclocitral	CC	0.00	3.43	0.67	0.95	0.01	1.23

Code: coding of each volatile components; majority families from I to III; minority families from IV to XI

Stellaria media (L.) Vill (Caryophyllaceae).

Regarding this specie, a total of 23 volatile compounds were identified. The main chemical families were medium-chain aldehydes, fatty alcohols (18.23%), and sesquiterpenoids

(11.19%). Between the individual volatile compounds identified, the abundant ones were 2-hexenal (HX, 22.39%) and hexanal (HA, 13.81%) from medium-chain aldehydes, and 1-hexanol (HL, 13.72%) from the fatty alcohols family. Trans- β -ionone (IO, 11.12%) represented the sesquiterpenoids family.

Sonchus oleraceus L. (Asteraceae).

A total of 27 volatile compounds were identified, being mainly characterized by the benzenoids family (49.61%), followed by the medium-chain aldehydes family (28.59%). The volatile compounds with the greatest influence on the volatile composition of this species are benzeneacetaldehyde (BC, 30.7%), 2-hexenal (HX, 17.14%), and benzaldehyde (BZ, 16.20%).

Chenopodium album L. (Chenopodiaceae).

Of the 27 identified volatiles, the families of medium-chain aldehydes (43.42%) and benzenoids (30.75%) predominated, followed by the fatty alcohols family (13.97%). The most abundant compounds of the predominant families were 2-hexenal (HX, 26.82%) and 2.4-heptadienal-(E,E) (HP, 10.66%), followed by benzaldehyde (BZ, 16.35%), respectively, whereas 1-hexanol (HL; 13.47%) was from minority families.

Diplotaxis erucoides (L.) DC (Brassicaceae).

The profile of this specie was characterized by 17 individual volatiles found, essentially, from the benzenoids family. At an individual level, the most predominant compound was benzyl nitrile (93.39%). Between the individual volatile compounds from minority families, the presence of 2-hexenal (HX, 0.16%) was highlighted.

Portulaca oleracea L. (Portulacaceae).

It was possible to identify a total of 16 volatile compounds in this specie, of which 32.74% were pyrazines and 32.24% monoterpenoids families, followed by benzenoids (16.21%) and alcohols (11.60%) ones. At the individual level, the compounds with the highest content were 2-sec-butyl-3-methoxypyrazine (SB, 25.07%) and linalool (LN, 20.18%). The volatile from minority families with the greatest amount was 1-butanol, 3-methyl (BU, 11.60%). The differentiating aroma found only in this species was 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (IP, 2.07%).

Porophyllum ruderale (Jacq.) Cass (Asteraceae).

Regarding the characterization of the volatile profile of this specie, 27 volatile metabolites were identified, mainly families of monoterpenoids and branches unsaturated hydrocarbons (20.54%). Its main individual volatile constituents were p-cymene (PC, 26.10%) and γ -terpinene (TP, 20.54%), respectively. The differentiating aromas found only in this species were (E)- β -ocimene (OC, 1.02%), α -copaene (CO, 0.26%), and eugenol (EU, 0.2%).

The comparison of volatile compounds presents in the leaves, and it showed that volatiles such as benzaldehyde (BZ), benzeneacetaldehyde (BC), benzyl isothiocyanate (BT), hexanal (HA), trans- β -ionone (IO), and β -cyclocitral (CC) were present in all species; some volatiles were present only in one species, being considered differentiating aromas. In *T. majus* the differentiating aroma was benzyl alcohol (BA); in *P. ruderale* it was eugenol (EU), α -copaene (CO) and (E)- β -ocimene (OC); in *P. oleracea* it was 2-isopropyl-3-methoxypyrazine (IP); benzyl isocyanate (BI) was found only in the species *T. majus* and *D. erucoides*. The relative content of each chemical family, including the respective individual volatiles, is summarized in **Figure 2**.

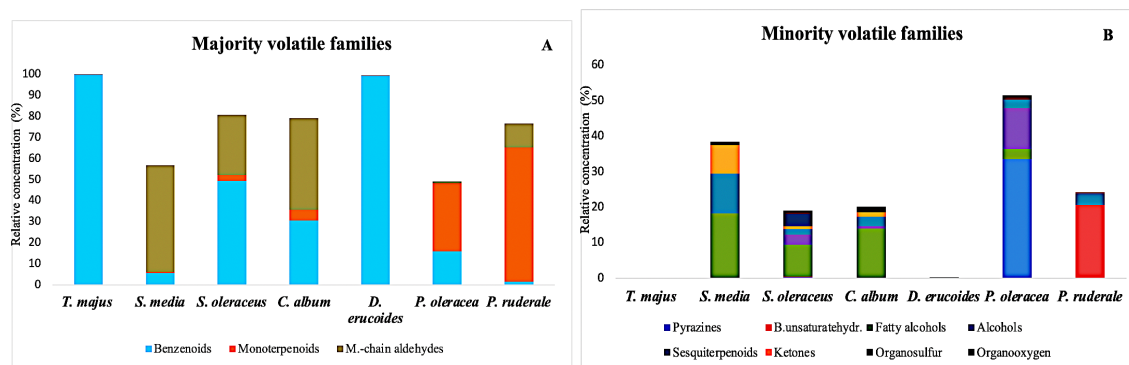


FIGURE 2. Chemical families of volatiles and their relative content in the leaves of the seven undervalued species: A) majority volatile families; B) minority volatile families.

General analysis

The general ANOVA analysis recognized the statistically significant effects of the species (p-value) on the content of volatile compounds, which are indicated in Table 1, with the letters as a super index for each constituent.

Most of the individual volatile compounds had significant differences between species ($p < 0.05$), except medium-chain aldehydes (code HE, HP and ND), monoterpenoids (PC), and ketones (OD). These general results indicate a different behavior in the synthesis of individual volatile compounds, depending on each species and the specific environmental conditions of the season.

Principal component analysis

To reduce the dimensionality of the data set containing many interrelated variables, the principal component analysis (PCA) method was applied, which allowed obtaining a reduced number of linear combinations of 37 identified aromatic components. In this case, 6 components have been extracted that explain 92.35% of the variability in the original data. **Figure 3** shows the values of two principal components with greater strength, which explain more than 50% of the variability of the data, the first component (PC1) and second (PC2) accounted, respectively, 33.51% and 25.81% of the total variation. **Figure 3A** (the score) allows visualization of the sample distribution based on PC1 and PC2. For instance, three species *D. erucooides*, *T. majus* and *P. oleracea* were spread along PC1 and PC2 at negative value for both. Two species *S. oleraceus* and *C. album* cluster around zero on PC2 and have been characterized by negative value of PC1. The species *P. rudérale* is characterized by high value of PC1 component and negative values of PC2. The species *S. media* was spread along PC2 at high positive value. **Figure 3B** (the loadings) shows the distribution of each of the identified volatile components has had in the classification of the species. The loadings presentation indicated that the monoterpenoids and sesquiterpenoids families were predominantly important for species separation along PC1, while the medium-chain aldehydes family was predominantly important for species separation along PC2.

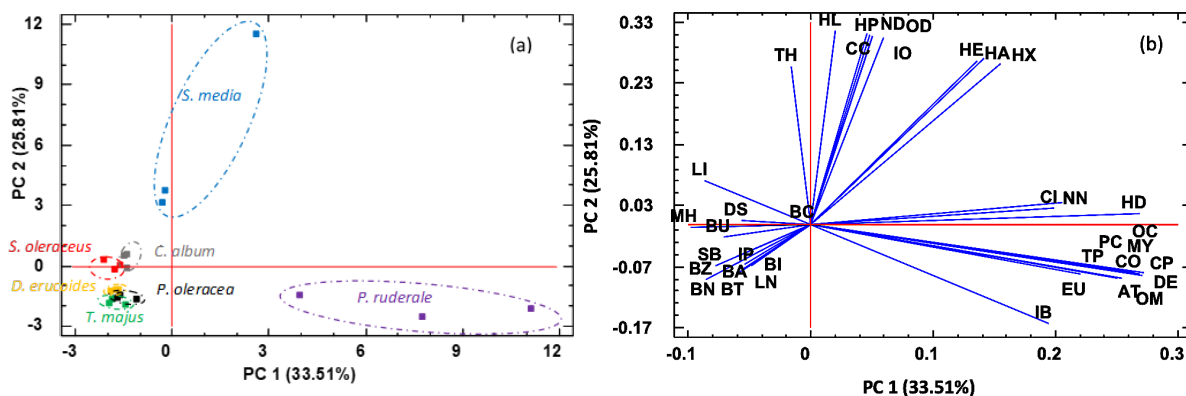


FIGURE 3. Principal component analysis (PCA) of the investigated samples. Scores (a) and loadings (b) of the two principal components on the matrix correlations were built using data from individual volatiles.

Larger loadings indicate that the volatile has a strong effect on the corresponding PC. The most positive effects on the PC1 have compounds with the codes α -copaene (CO), β -myrcene (MY), α -terpinene (AT), β -caryophyllene (CP), (E)- β -ocimene (OC), (Z)- β -ocimene (OM), 2,4-hexadienal-(E,E) (HD), decanal (DE) and the most negative effect the d-limonene, 5-methyl-5-hepten-2-one. The most positive effects on the PC2 have compounds with the codings hexanal (HA), 2-hexenal (HX), 2-hexenal (HE), 2,4-heptadienal-(E,E) (HP), 2,6-nonadienal-(E,Z) (ND), β -cyclocitral (CC), trans- β -ionone (IO), 3,5-octadien-2-one, (E,E) (OD), and the most negative effects α -terpinene and eugenol. Therefore, the between-species difference revealed by the preliminary PCA of volatile profiles is probably due to genotype diversity, leading to a different metabolic pattern rather than geoclimatic conditions. In addition, the relationship between individual compounds was also evaluated by the hierarchical cluster analysis (Figure 4).

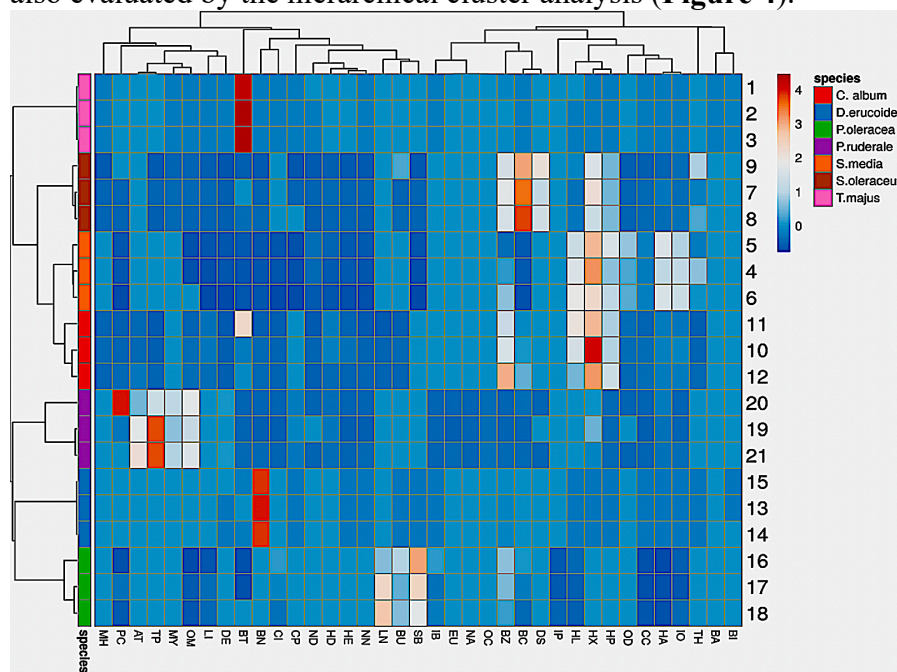


FIGURE 4. Hierarchical cluster analysis for identified volatile compounds in the seven undervalued species. Data present the average value compounds (n=3) for each studied plant. For the code of the compound identities, refer to Table 1.

This analysis grouped samples into two main clusters, where five subgroups are clearly differentiated. *S. oleraceus*, *S. media* and *C. album* were the most numerous subgroup. These species showed a more homogeneous distribution of the chemical families and their respective compounds. A homogeneous presence was observed for the majority chemical families such as medium-chain aldehydes, followed by the benzenoids with less homogeneity, while the minorities were such families as fatty acids, ketones, and organooxygen compounds. Other subgroups contained a single species, which were *T. majus*, *P. ruderale*, *D. eruroides*, and *P. oleracea*, respectively. Each of these species was classified as an independent group due to the heterogeneity or absence of some volatile compounds and, above all, due to the presence of differentiating aromas. However, *T. majus* is grouped with the most numerous subgroup, while *D. eruroides* and *P. oleracea* could also be grouped in another subcluster. The only species that has a differential aromatic behavior is *P. ruderale*.

DISCUSSION

Edible wild plants are traditionally used for their flavor and aroma in food, to improve the attractiveness of everyday dishes and, probably, to prevent certain human diseases. Aromatic volatile compounds of plants are found in very small quantities. Despite their small amounts, they can act as olfactory and taste stimuli. The wild edible species of this study belonged to different seasons of Mediterranean conditions, which were spring–summer and autumn–winter.

The contents of volatile compounds varied markedly among the seven undervalued species, each differing in their aroma profile. The typical aroma of vegetables depends on the number of volatiles, their chemical nature, and the synergic effects. Also, the portion of glycosidically bound volatiles is usually greater than that of free volatiles, making them an important potential source of flavor compounds (39). The relative amounts of these compounds and their odor threshold may be related to the time of harvest and habitat conditions. A total of

37 volatiles were found among seven species studied, and they were grouped into 11 chemical families, due to their qualitative and quantitative differences. All obtained profiles were shown to have a variety of proportions of identified volatile compounds. The most abundant groups according to GC-peak area units were benzenoids, monoterpenoids, and medium-chain aldehydes, whereas branched unsaturated hydrocarbons and fatty alcohols were minor groups, among others. 37 highlight that the volatile compounds synthesized by the botanical families to which the studied species belong are composed of twelve more common chemical families, among which are C5-branched chain compounds; nitrogen-containing compounds; aliphatic compounds; benzenoids and phenyl propanoids; sesquiterpenes; and irregular terpenes and monoterpenes, all of which were found in our study. At the individual level, a wide range of qualitative variability was also detected, with compounds such as benzaldehyde (BZ), benzyl isothiocyanate (BT), hexanal (HA), trans- β -ionone (IO), and β -cyclocitral (CC). A few compounds were only found in some species and were considered as differentiating aromas. Consequently, the differences of chemical groups were also very diverse at both quantitative and qualitative levels.

There is little evidence in the literature for volatile profiles from the fresh leaves of *T. majus*, since the flower is one of the most popular and best-known edible parts. Thus, study of the essential oil obtained by hydrodistillation of *T. majus* aerial parts (leaves and flowers), carried out by Lim (40), reported the content of eight carotenoids, fatty acids, flavonoids, and antibiotic tromalytes and found that the leaves were the primary site of

benzylglucosinolate synthesis, with their contents increasing in the adult plant. On the contrary, (41) have reported high levels of glucosinolate glucotropaeolin concentration (between 48 to 78 $\mu\text{mol/g}$ dry weight) in the dried leaves of *T. majus*, determined by HPLC analysis. After enzymatic activity, this glucosinolate transforms into benzyl isothiocyanate, a volatile compound first found in our research to be in abundance in this plant. In the study of the same authors, it is pointed out that similar enzymatic activity occurs when Tropaeolum leaves are freshly consumed, so the derived compound is absorbed in the intestine and excreted in the urine, exhibiting its antimicrobial activity (41). However, (42) have completed the characterization of the volatile compounds of Indian cress (*T. majus*) by GC-olfactometry/VIDEO-Sniff and HS-SPME-GCxGC-TOFMS, where they identified 44 odorant compounds and highlighted powerful sulfury and fruity notes. In our study, for the same species, organosulfur compounds were absent and benzyl isothiocyanate was classified as the benzenoids family (although with the presence of sulfur); this was substantially predominant, followed by benzaldehyde. The benzaldehyde compound has aromatic descriptors such as almond notes, roasted, and bitter (43, 44), while benzylglucosinolate accumulates in the mature plants of *Tropaeolum majus* L., increasing its content progressively from seeds until the leaves become the main site for its synthesis (45). The results of our study suggest that benzaldehyde and benzyl isothiocyanate in *T. majus* might be of special importance for the aroma of this one. Other secondary metabolites with strong anti-inflammatory activity and an important anti-infectious/antimicrobial action provided by aromatic esters and alcohols that were highlighted have also been described in other works (46). The volatile compound 1-hexanol (fatty alcohols family) was found in this study. Despite its scarcity, it is associated with a pungent aroma (47). A study by Kawada (48) has reported that pungent ingredients have anti-weight-gain properties and are being utilized for the development of functional foods. Both compounds, benzyl alcohol and benzyl isocyanate, identified in our study in *T. majus*, may be postulated as differentiating aromas, since the first is characteristic only of this species, and the other, due to its significant concentration, is compared to the other components from their volatile profile. The review article by (49) corroborates that benzyl alcohol has been reported to occur in nature, with the highest amounts observed in allium plants species. However, future studies are necessary to determine the differentiating aroma of this compound in the botanical family Tropaeolaceae (*T. majus*). In addition, according to (50), alcohols, aldehydes, and acetates are widely distributed in fresh green plant tissues and considered to be responsible for typical "green leaf" odor. On the contrary, the isothiocyanate identified has aromatic descriptors that characterize it as a "cabbage" aroma (51) and confer several bitter taste characteristics and black mustard-like notes, as well as giving beneficial bioactive effects (52).

Other species of our study (*D. eruroides*) also had a presence of benzyl isothiocyanate, although in much lower concentration. Its presence may be since both plants are from the Brassicales order, which is characterized by accumulate glucosinolate metabolites, which enzymatically hydrolyze into other volatile compounds by plant tissue damage (53). The derived products from hydrolysis of glucosinolates depend on the plant species and conditions in which the hydrolysis occurs. These hydrolysis products do not reach a toxic level for humans when they are included in a diet (54, 55). In *D. eruroides*, this hydrolysis can lead to considerable levels of isothiocyanates and nitriles (56). In addition, the intake of these compounds provides health benefits such as the reduction of the risk of cancer (57). In our case, the benzyl nitrile was the majority component from the benzenoid chemical family in *D. eruroides*. The nitrile component is also contributing toward pungency notes and several bitter tastes, in addition to providing the sulfurous aromatic attributes (53). This aromatic combination is modified by the presence of the other volatile components that

affect the acceptance of the organoleptic characteristics of the plants (58). In particular, the volatile profiles of Valencian *D. eruroides* in baby-leaves stages grown in a substrate under controlled conditions in the study carried out by (59) were different, detecting only nine compounds vs. fifteen in this study, of which only one has coincided in our study (benzyl isothiocyanate). Likewise, the absence of the monoterpenoids family was observed. This difference suggests the importance of the state of maturity on the formation of the volatility profile and the optimal harvest time of the plants (60, 61). No differentiating aroma was detected in this species.

P. ruderale was the species where the greatest number of differentiating aromas was found. These important plant constituents were (E)- β -ocimene > α -copaene and eugenol. The research carried out by 61 described the flavor/aroma of (E)- β -ocimene as a “pleasant, warm herbaceous note” and noted that its presence depends on seasonal variation. In addition, this component is among the main volatile ones in parsley (*P. crispum* (Mill.) Nyx. Ex A.W. Hill) and peppermint (*Mentha x piperita* L.) (62). According to (63), some compounds, including eugenol (clove aroma), are presented as the most odor-active components. In return, α -copaene exhibited a cytotoxic effect on MCF-7 breast carcinoma cell lines (64). In agreement with the previously mentioned study, the aromatic profile of *P. ruderale* varied greatly, depending on its geographic origin. A study carried out by Fonsceca et al. (65) on the composition of Bolivian *P. ruderale* oil showed that the leaf oil had monoterpene sabinene (64%) as the major constituent; the leaf oil from Mexican *P. ruderale* had limonene (71.4%) as the major constituent, as did the oil of plants from Brazil (74.6%).

Both studies mentioned were carried out with the hydrodistillation extracts, which is very different from the handling of volatiles in this study. HS-SPME/GC-MS allows more genuine volatiles and aromas to be obtained. Within the limitations of the existence of standards and a managed internal library, the majority component found was p-cymene, followed by γ -terpinene. However, the family of fatty alcohols was not detected. Being native to the Western Hemisphere, *P. ruderale* from the Valencian coast has changed its volatile profile in the first approach of this study and may be an interesting hypothesis for further studies. These results allow us to observe how this species shows considerable plasticity of chemotype change as a function of geoclimatic conditions.

The aromatic description of volatiles present in considerable amounts is characterized as “minty/piney” or “terpenic/tropical herbal” for γ -terpinene and its flavor type as “terpenic/citrus/oily green” (47, 66), as well as “herbal/floral” or “citrus/sweet” aroma for (Z)- β -ocimene (66, 67). The organoleptic properties of α -terpinene are described as the odor type “woody, herbal, and medicinal,” and its flavor type as “terpenic/spicy/sharp/minty” (47), or it may be “citrus-like/herbaceous/terpeny” (68). The volatile component p-cymene can be described as the most odor-active component due to its high level in this study, and its characteristics are described as having a “fragrant/sweet/fresh/herbaceous note” (68). All these aromatic characteristics correlate with favorable organoleptic attributes, in addition to providing an antimicrobial effect characteristic of monoterpenes and sesquiterpenes (69).

Another species different from the others was *P. oleracea*, which was confirmed by the heatmap of volatile compounds. It is perhaps the plant with the greatest studies carried out on its volatile compounds. The differentiating aroma in our study was 2-isopropyl-3-methoxypyrazine and its homolog 2-sec-butyl-3-methoxypyrazine, reaching the highest amount among the individual compounds of *P. oleracea*. In contrast with a study carried out by Dabbou et al. (70) with Tunisian purslane leaves, where the pyrazine family was the minority and oxygenated monoterpenes the majority, in our study the pyrazine family was

predominant, along with monoterpenoids. The same authors emphasize that some volatile compounds act as bioactive components, with pharmacological effects such as anti-inflammatory, hypoglycemic, and muscle relaxant, among others. According to (71), Chinese purslane had the presence of benzeneacetaldehyde and linalool among its volatile compounds; the same ones were found in our study. Considering that this plant is very popular in traditional Chinese medicine, it is possible that some of the volatile compounds have pharmacological activity. Among chemical families, pyrazines and alcohols stood out above all. As (72) study indicates, pyrazine family compounds have strong antibacterial activity and could significantly inhibit or kill common enteropathogenic bacteria. This consideration could require future studies on the pyrazine family of Valencian *P. oleracea*, even more so since one component of this family was the differentiating aroma and it is found in green bell peppers and peas (62). Other individual compounds present in considerable amounts were linalool and 1-butanol, 3-methyl. The first is characteristic in basil (*O. basilicum* L.), coriander (*C. sativum* L.), and thyme (*T. vulgaris* L.), while the second is found in tomato juice (73). The aromatic descriptors for linalool are “flowery/rose”; for 1-butanol, 3-methyl they are “chemical/harsh/stakes” (74) and “fruity/malty” (75).

The largest group of chemical compounds was concentrated in the species *S. media*, *S. oleraceus*, and *C. album*. This group was characterized by a more homogeneous distribution of the chemical families identified in each of the volatile profiles and the absence of differentiating aromas. *S. oleraceus* was a species where all the volatile chemical families were found, especially organosulfur compounds such as dimethyl sulfide. Along with its counterpart, dimethyl trisulfide, it is identified as the main aroma component in cooked Brassicaceous vegetables and has a strong and unpleasant aroma, although odor thresholds vary considerably for different chemicals. In contrast, dimethyl sulfide of kale (*B. oleracea*), with other compounds, contributed to roasted/sulfur-like/pungent and sweet aroma characteristics (44). Therefore, this component could be considered as a differentiating aroma for *S. oleraceus*. However, some volatile compounds present in trace amounts can contribute significantly to the characteristic flavor and aroma of fresh foods (76). Other abundant families were benzenoids and medium-chain aldehydes. At the individual level, qualitative variability of compounds such as benzeneacetaldehyde was detected, much higher in *S. oleraceus* vs. *S. media* and *C. album*, its odor description being “floral/herbal/honey/cocoa” (77). The components without a significant level of differences between the three species were 2,4-hexenal, with a “fruity/sweet/fresh” odor note (78), and 2,4-heptadienal-(E, E), one of the lipid-degraded compounds with “metallic and rancid off-flavor” aromatic notes (79), or with the description “fatty/nutty/hay/green/oily” (80). As a particularity of each species, the high content of medium-chain aldehydes stands out in *S. media* and *C. album*, followed by the families of fatty alcohols and benzenoids, respectively. Meanwhile, at the individual level, 1-hexanol emerged with a higher amount in *S. media* compared to the other two species of the group. Likewise, the presence of benzyl isothiocyanate stands out in the three species without significant differences. There is also a considerable amount of trans- β -ionone in *S. media* compared to its group counterparts, and there is a presence of trans-2-hexenol, especially in *S. media*, followed by *S. oleraceus*, with both exceeding the level of *C. album*. The odor description for trans- β -ionone, the volatile from the sesquiterpenoids family, is “woody/violet/fruity” (66). Alternatively, the natural occurrence of trans-2-hexenol is reported in many foods such as allium species, cabbage, chamomile, and lettuce, among others (81). Some volatile production is related to disrupted tissue (membrane breakdown), especially the trans-2-hexenol, for which the aroma is described as “green/leafy” (82, 83).

In general, many C₁₀ monoterpenoids and C₁₅ sesquiterpenes comprise the most abundant group of compounds present in aroma profiles. In some cases, there are also key compounds determining the characteristic aroma (39). This study has corroborated the predominance of monoterpenoids as a majority family, together with benzenoids and medium-chain aldehydes families. However, the maturity of the plants and their integrity also affect the presence of some volatiles in the aroma profiles of plants. The volatile analysis showed a difference in the relative abundance of the multiple chemical families and their components found in this study. It is known that the main volatiles have their contribution to aromas perceived from food. However, minor volatiles also contribute to organoleptic qualities such as odor and taste, an example of which is (E)- β -ocimene, contributing delicate and elegant aroma characteristics (66). The study confirmed that the aromatic characteristics of the plants under the same geoclimatic conditions show a high variety of volatile compounds. The specific aroma could be used as a biochemical marker of quality characteristics. Sensory aroma analysis as an organoleptic quality of these plants could be included in future research to assess their acceptability and clarify whether aroma differentiation is due to a combination of intensity and relative abundance of some individual volatiles.

CONCLUSION

This study is the first report to assess the volatile profiles and identification of differentiating aromas of the seven selected plants that provide a basis for characterization of their organoleptic qualities. Assessment of the volatile profiles was carried out using the HS-SPME/GC-MS method, which was demonstrated to be appropriate for the analysis of volatile compounds in the seven edible plants as an initial approximation in the aromatic quality. These undervalued species showed differences in their aromas, which constitutes an appreciable organoleptic characteristic of the wild species, together with other secondary metabolites present (polyphenols, total acidity, etc.). In general, the results obtained in the present work corroborate that the fresh leaves of the studied species are identified by their own organoleptic quality due to the great variability of their volatile profiles that include the constituents with possible bioactive characteristics. These metabolites were grouped into more abundant families, which turned out to be monoterpenoids and benzenoids. The results reveal that the studied undervalued species could be a suitable choice as an alternative to conventional vegetables and as possible material in sustainable production systems. In addition, these plants, due to their organoleptic values, such as flavor and aroma, could contribute to the diversification of gastronomic ingredients and could collaborate in the provision of a healthy and beneficial diet for the health of consumers and the benefit of the planet.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

TF and MR planned the study, curated the data, and drafted the manuscript. MR supervised the research. TF, MG-M, and EM-P performed the volatile detection and quantification experiments. TF performed the statistical analyses. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thanks Manuel Figueroa from the local Ecological Cooperative and who kindly provided the materials used in this study on time and in sufficient quantity for his direct collaboration.

REFERENCE:

1. Leonti M, Nebel S, Rivera D, Heinrich M. Wild gathered food plants in the European mediterranean: a comparative analysis. *Econ Bot.* (2006) 60:130– 42. doi: 10.1663/0013-0001(2006)60[130:WGFPI]2.0.CO;2
2. Vanzani P, Rossetto M, De Marco V, Sacchetti LE, Paoletti MG, Rigo A. Wild Mediterranean plants as traditional food: a valuable source of antioxidants. *J Food Sci.* (2011) 76:C46–51. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01949.x
3. Pancorbo-Olivera M, Rondinel FAP, Guevara JJT, Fernández AC. Los otros alimentos: Plantas comestibles silvestres y arvenses en dos comunidades campesinas de los Andes Centrales del Perú. *Revista Etnobiología.* (2020) 18:8–36. Available online at: <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/353/337>
4. Disciglio G, Tarantino A, Frabboni L, Gagliardi A, Giuliani M, Tarantino E. Qualitative characterisation of cultivated and wild edible plants: mineral elements, phenols content and antioxidant capacity. *Ital J Agronomy.* (2017) 12. doi: 10.4081/ija.2017.1036
5. Vlaisavljević S, Jelača S, Zengin G, Mimica-Dukić N, Berežni S., et al. *Alchemilla vulgaris* agg. (Lady’s mantle) from central Balkan: antioxidant, anticancer and enzyme inhibition properties. *RSC Adv.* (2019) 9:37474–83. doi: 10.1039/C9RA08231J
6. Jakubczyk K, Tuchowska A, Janda-Milczarek K. Plant hydrolates–Antioxidant properties, chemical composition and potential applications. *Biomed Pharmacother.* (2021) 142:112033. doi: 10.1016/j.biopha.2021.112033
7. Hadjichambis, A. C., Paraskeva-Hadjichambi, D., Della, A., Elena Giusti, M., and Pasquale, D. e., et al. Wild and semi-domesticated food plant consumption in seven circum-Mediterranean areas. *Int J Food Sci Nutr.* (2008) 59:383– 414. doi: 10.1080/09637480701566495
8. Romojaro A, Botella MÁ, Obón C, Pretel MT. Nutritional and antioxidant properties of wild edible plants and their use as potential ingredients in the modern diet. *Int J Food Sci Nutr.* (2013) 64:944–52. doi: 10.3109/09637486.2013.821695
9. Tardío J, Cortes Sánchez-Mata, d. e, Morales M, Molina R, García-Herrera M, Morales P. “Ethnobotanical and Food Composition Monographs of Selected Mediterranean Wild Edible Plants”, In: Sánchez-Mata M, Tardío J. editors. *Mediterranean Wild Edible Plants*. Springer: New York. p. 273–470 doi: 10.1007/978-1-4939-3329-7_13
10. García-Herrera P, Morales P, Cámara M, Fernández-Ruiz V, Tardío J, Sánchez-Mata MC. Nutritional and phytochemical composition of mediterranean wild vegetables after culinary treatment. *Foods.* (2020) 9:1761. doi: 10.3390/foods9121761
11. Savo V, Salomone F, Bartoli F, Caneva G. When the local cuisine still incorporates wild food plants: the unknown traditions of the monti picentini regional park (Southern Italy). *Econ Bot.* (2019) 73:28– 46. doi: 10.1007/s12231-018-9432-4
12. Motti R, Bonanomi G, Lanzotti V, Sacchi R. The contribution of wild edible plants to the mediterranean diet: an ethnobotanical case study along the coast of Campania (Southern Italy). *Econ Bot.* (2020) 74:249– 72. doi: 10.1007/s12231-020-09504-1
13. Tepper BJ. Nutritional implications of genetic taste variation: the role of PROP sensitivity and

- other taste phenotypes. *Annu Rev Nutr.* (2008) 28:367–88. doi: 10.1146/annurev.nutr.28.061807.155458
14. Schwab W, Davidovich-Rikanati R, Lewinsohn E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *Plant J.* (2008) 54:712–32. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03446.x
 15. 3. Pancorbo-Olivera M, Rondinel FAP, Guevara JJT, Fernández AC. Los otros variation in composition of the essential oil of *Seseli rigidum* Waldst. and Kit. (Apiaceae). *Phytochemistry.* (2017) 135:80–92. doi: 10.1016/j.phytochem.12, 004.
 16. Dudareva N, Negre F, Nagegowda DA, Orlova I. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *CRC Crit Rev Plant Sci.* (2006) 25:417–40. doi: 10.1080/07352680600899973
 17. Puzstahelyi T, Holb IJ, Pócsi I. Secondary metabolites in fungus-plant interactions. *Front Plant Sci.* (2015) 6:573. doi: 10.3389/fpls.2015.00573
 18. Lopez-Gresa MP, Lisón P, Campos L, Rodrigo I, Rambla JL, Granell A. A non-targeted metabolomics approach unravels the VOCs associated with the tomato immune response against *Pseudomonas syringae*. *Front Plant Sci.* (2017) 8:1188. doi: 10.3389/fpls.2017.01188
 19. Moraga AR, Rambla JL, Ahrazem O, Granell A, Gómez-Gómez L. Metabolite and target transcript analyses during *Crocus sativus* stigma development. *Phytochemistry.* (2009) 70:1009–1016. doi: 10.1016/j.phytochem.04, 022.
 20. Pott DM, Osorio S, Vallarino JG. From central to specialized metabolism: an overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit. *Front Plant Sci.* (2019) 10:835. doi: 10.3389/fpls.2019.00835
 21. Pichersky E, Gershenzon J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Curr Opin Plant Biol.* (2002) 5:237–43. doi: 10.1016/S1369-5266(02)00251-0
 22. Maffei ME, Gertsch J, Appendino G. Plant volatiles: production, function and pharmacology. *Nat Prod Rep.* (2011) 28:1359–80. doi: 10.1039/c1np00021g
 23. Visai C, Vanoli M. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines. *Sci Hort.* (1997) 70:15–24. doi: 10.1016/S0304-4238(97)00032-0
 24. Goff SA, Klee HJ. Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value? *Science.* (2006) 311:815–9. doi: 10.1126/science.1112614
 25. Karaman K, Polat B, Ozturk I, Sagdic O, Ozdemir C. Volatile compounds and bioactivity of *Eremurus spectabilis* (Ciris), a Turkish wild edible vegetable. *J Med Food.* (2011) 14:1238–43. doi: 10.1089/jmf.2010.0262
 26. Landoulsi A, Roumy V, Duhal N, Skhiri FH, Rivière C, Sahpaz S. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from aerial parts and roots of *Eryngium barrelieri* Boiss and *Eryngium glomeratum* Lam from Tunisia. *Chem Biodivers.* (2016) 13:1720–9. doi: 10.1002/cbdv. 201600136
 27. Choi HS, Kim SL, Kim JH, Ko YC, Lee DS. Plant volatile, phenylacetaldehyde targets breast cancer stem cell by induction of ROS and regulation of Stat3 signal. *Antioxidants.* (2020) 9:1119. doi: 10.3390/antiox9111119
 28. Kumar P, Shaunak I, Verma ML. “Biotechnological application of health promising bioactive molecules”, In: *Biotechnological Production of Bioactive Compounds.* editors, Madan L. Verma Anuj K. Chandel. Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V. (2020). p. 165–189.
 29. Goto T, Takahashi N, Hirai S, Kawada T. Various Terpenoids Derived from Herbal and Dietary Plants Function as PPAR Modulators and Regulate Carbohydrate and Lipid Metabolism. *PPAR Res.* (2010) 9:483958. doi: 10.1155/2010/483958

30. Reed DR, Alhadeff AL, Beauchamp GK, Chaudhari N, Duffy VB, Dus M. NIH Workshop report: sensory nutrition and disease. *Am J Clin Nutr.* (2021) 113:232–45. doi: 10.1093/ajcn/nqaa302
31. Williams DE. Cultivos infrautilizados, cambio climático y un nuevo paradigma para la agricultura. *Ambienta.* (2013) 102:56–65. Available online at: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAmbienta_2013_102_56_65.pdf
32. Aryal K, Moe AT, Hein PP, Bay YHS, Htay T, Aung HW. Wild and non- cultivated edible plants and their contribution to local livelihoods in Putao, Myanmar. *International Centre for Integrated Mountain Development GPO Box 3226, Kathmandu, Nepal.* (2020).
33. Tardío J, Pardo-de-Santayana M, Morales R. Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. *Bot J Linn. Soc.* (2006) 52:27–71. doi: 10.1111/j.1095-8339.2006.00549.x
34. Morales R, Tardío J, Aceituno L, Molina M, Pardo, d. e. S. “Biodiversidad y Etnobotánica en España”, in: *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, editor. *Real Sociedad Española de Historia Natural.* Madrid: Spain (2011). p. 157–208. <http://hdl.handle.net/10261/66932>
35. Soria García JM, Romo S, Palacios Pastor A, García Picazo A, Aledón Catal T, Calvo García, S. “Evaluación de la conservación de los humedales costeros de la Comunidad Valenciana mediante imágenes de Landsat”, In: *Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección.* editors, J. Bustamante R, Díaz-Delgado D, Aragonés, I. Afán y, D García. Sevilla: Spain. (2015) p. 354.
36. Moreno, E., Fita, A., González-Mas, M. C., and Rodríguez-Burruezo, A. HS-SPME study of the volatile fraction of Capsicum accessions and hybrids in different parts of the fruit. *Sci Hortic.* (2012) 135:87–97. doi: 10.1016/j.scienta.12.001.
37. Knudsen JT, Eriksson R, Gershenzon J, Ståhl B. Diversity and distribution of floral scent. *Bot Rev.* (2006) 72:1. doi: 10.1663/0006-8101(2006)72[1:DADOFs]2.0.CO;2
38. Kollmannsberger H, Rodríguez-Burruezo A, Nitz S, Nuez F. Volatile and capsaicinoid composition of ají (*Capsicum baccatum*) and rocoto (*Capsicum pubescens*), two Andean species of Chile peppers. *J Sci Food Agric.* (2011) 91:1598–1161. doi: 10.1002/jsfa.4354
39. El Hadi MAM, Zhang FJ, Wu FF, Zhou CH, Tao J. Advances in fruit aroma volatile research. *Molecules.* (2013) 18:8200–29. doi: 10.3390/molecules18078200
40. Lim TK. “*Tropaeolum majus*”, In *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants.* Dordrecht: Springer. (2014). p. 777–87.
41. Kleinwächter M, Schnug E, Selmar D. The Glucosinolate–Myrosinase System in *Nasturtium* (*Tropaeolum majus* L.): Variability of Biochemical Parameters and Screening for Clones Feasible for Pharmaceutical Utilization. *J Agric Food Chem.* (2008) 56:11165–70. doi: 10.1021/jf802053n
42. Breme K, Tournayre P, Fernandez X, Meierhenrich UJ, Brevard H, Joulain D. Characterization of volatile compounds of Indian cress absolute by GC-olfactometry/VIDEO-sniff and comprehensive two-dimensional gas chromatography. *J Agric Food Chem.* (2010) 58:473–80. doi: 10.1021/jf902946v
43. Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. “Aroma compounds”, In: *Food chemistry*, editor. Berlin, Heidelberg: Springer. (2004). p. 342–408.
44. Oh J, Cho IH. The aroma profile and aroma-active compounds of Brassica oleracea (kale) tea. *Food Sci Biotechnol.* (2021) 30:1205–11. doi: 10.1007/s10068-021-00962-4
45. Lykkesfeldt J, Moller BL. Synthesis of benzylglucosinolate in *Tropaeolum majus* L. (*isothiocyanates as potent enzyme inhibitors*). *Plant Physiol.* (1993) 102:609–13. doi: 10.1104/pp.102.2.609

46. Ghedira K, Goetz P. *Tropaeolum majus* L. (*Tropaeolaceae*) *Phytothérapie*. (2013) 11:316–9. doi: 10.1007/s10298-013-0808-4
47. The Good Scents Company Information Systems. (2021). Available online at: www.thegoodscentscopy.com
48. Kawada T. Food-derived regulatory factors against obesity and metabolic syndrome. *Biosci Biotechnol Biochem*. (2018) 82:547–53. doi: 10.1080/09168451.2017.1401912
49. Cognamiglio J, Jones L, Vitale D, Letizia CS, Api AM. Fragrance material review on benzyl alcohol. *Food Chem Toxicol*. (2012) 50:S140–60. doi: 10.1016/j.fct.10, 013.
50. Tava A, Pecetti L, Ricci M, Pagnotta MA, Russi L. Volatile compounds from leaves and flowers of *Bituminaria bituminosa* (L.) Stirt. (Fabaceae) from Italy. *Flavour Fragr J*. (2007) 22:363–70. doi: 10.1002/ffj.1806
51. Grimalt M, Sánchez-Rodríguez L, Hernández F, Legua P, Carbonell- Barrachina ÁA, Almansa MS. Volatile profile in different aerial parts of two caper cultivars (*Capparis spinosa* L.). *J Food Qual*. (2021) 9:6620779. doi: 10.1155/2021/6620776
52. Parker JK. “Introduction to aroma compounds in foods”. In: *Flavour Development, Analysis and Perception in Food and Beverages*, editor. Woodhead Publishing Series. (2015) 3–30. doi: 10.1016/B978-1-78242-103-0.00001-1
53. Bell L, Oloyede OO, Lignou S, Wagstaff C, Methven L. Taste and flavor perceptions of glucosinolates, isothiocyanates, and related compounds. *Mol Nutr Food Res*. (2018) 62:1700990. doi: 10.1002/mnfr.201700990
54. Angelino D, Dosz EB, Sun J, Hoeflinger JL, Van Tassell ML, Chen P. Myrosinase-dependent and-independent formation and control of isothiocyanate products of glucosinolate hydrolysis. *Front Plant Sci*. (2015) 6:831. doi: 10.3389/fpls.2015.00831
55. Hanschen FS, Schreiner M. Isothiocyanates, nitriles, and epithionitriles from glucosinolates are affected by genotype and developmental stage in Brassicaoleracea varieties. *Front Plant Sci*. (2017) 8:1095. doi: 10.3389/fpls.2017.01095
56. Raffo A, Masci M, Moneta E, Nicoli S, Sánchez Del Pulgar J, Paoletti F. Characterization of volatiles and identification of odor-active compounds of rocket leaves. *Food Chem*. (2018) 240:1161–1170. doi: 10.1016/j.foodchem.08, 009.
57. Fernández-León AM, Fernández-León MF, González-Gómez D, Ayuso MC, Bernalte MJ. Quantification and bioaccessibility of intact glucosinolates in broccoli ‘Parthenon’ and Savoy cabbage ‘Dama’. *J Food Compos Anal*. (2017) 61:40–46. doi: 10.1016/j.jfca.11, 010.
58. Gioia D, Avato I, Serio FP, Argentieri MP. Glucosinolate profile of *Eruca sativa*, *Diplotaxis tenuifolia* and *Diplotaxis eruroides* grown in soil and soilless systems. *J Food Compos Anal*. (2018) 69:197–204. doi: 10.1016/j.jfca.01, 022.
59. Guijarro-Real C, Prohens J, Rodríguez-Burruezo A, Fita A. Consumers acceptance and volatile profile of wall rocket (*Diplotaxis eruroides*). *Int Food Res J*. (2020) 132:109008. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109008
60. Monfort LEF, Bertolucci SKV, Lima AF, Mohammed AA, Blank A, et al. Effects of plant growth regulators, different culture media and strength MS on production of volatile fraction composition in shoot cultures of *Ocimum basilicum*. *Ind Crops Prod*. (2018) 116: 231-239. doi: 10.1016/j.indcrop.02.075
61. Tiwari S, Kate A, Mohapatra D, Tripathi MK, Ray H, Akuli A, et al. Volatile organic compounds (VOCs): Biomarkers for quality management of horticultural commodities during storage through e-sensing. *Trends Food Sci Technol*. (2020) 106:417–433. doi: 10.1016/j.tifs.10, 039.

62. Pinto T, Aires A, Cosme F, Bacelar E, Morais MC, Oliveira I. Bioactive (Poly) phenols, volatile compounds from vegetables, medicinal and aromatic plants. *Foods*. (2021) 10:106. doi: 10.3390/foods10010106
63. Kilic A, Hafizoglu H, Kollmannsberger H, Nitz S. Volatile constituents and key odorants in leaves, buds, flowers, and fruits of *Laurus nobilis* L. *J Agric Food Chem*. (2004) 52:1601–6. doi: 10.1021/jf0306237
64. Essien EE, Newby JM, Walker TM, Ogunwande IA, Setzer WN, Ekundayo O. Essential oil constituents, anticancer and antimicrobial activity of *Ficus mucoso* and *Casuarina equisetifolia* leaves. *Am J Essent Oil*. (2016) 4:1–6. Available online at: https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel-Essien-4/publication/318654405_Essential_oil_constituents_anticancer_and_antimicrobial_activity_of_Ficus_mucoso_and_Casuarina_equisetifolia_leaves/links/5975dd99458515e26d14453a/Essential-oil-constituents-anticancer-and-antimicrobial-activity-of-Ficus-mucoso-and-Casuarina-equisetifolia-leaves.pdf
65. Fonsceca MCM, Barbosa LC, Nascimento EA, Casali VWD. Essential oil from leaves and flowers of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cassini (Asteraceae). *J Essent Oil Res*. (2006) 18 345–7. doi: 10.1080/1042006.9699108.
66. Cai X, Mai RZ, Zou JJ, Zhang HY, Zeng XL, Zheng RR, et al. Analysis of aroma-active compounds in three sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars by GC-olfactometry and GC-MS. *J Zhejiang Univ Sci B*. (2014) 15:638–48. doi: 10.1631/jzus.B1400058
67. Suharta S, Hunaefi D, Wijaya CH. Changes in volatiles and aroma profile of andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) upon various drying techniques. *Food Chem*. (2021) 365:130483. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130483
68. Mariaca RG, Berger TF, Gauch R, Imhof MI, Jeangros B, Bosset JO. Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *J Agric Food Chem*. (1997) 45:4423–34. doi: 10.1021/jf970216t
69. Chimnoi N, Reuk-Ngam N, Chuysinuan P, Khlaychan P, Khunnawutmanotham N, Chokchaichamnankit D, et al. Characterization of essential oil from *Ocimum gratissimum* leaves: Antibacterial and mode of action against selected gastroenteritis pathogens. *Microb Pathog*. (2018) 118:290–300. doi: 10.1016/j.micpath.03, 041.
70. Dabbou S, Lahbib K, Pandino G, Lombardo S. Evaluation of pigments, phenolic and volatile compounds, and antioxidant activity of a spontaneous population of *Portulaca oleracea* L. *Grown Tunisia Agricul*. (2020) 10:353. doi: 10.3390/agriculture10080353
71. Zhu H, Wang Y, Liang H, Chen Q, Zhao P, Tao J. Identification of *Portulaca oleracea* L. from different sources using GC–MS and FT-IR spectroscopy. *Talanta*. (2010) 81:129–35. doi: 10.1016/j.talanta.11, 047.
72. Lei X, Li J, Liu B, Zhang N, Liu H. Separation and identification of four new compounds with antibacterial activity from *Portulaca oleracea* L. *Molecules*. (2015) 20:16375–87. doi: 10.3390/molecules200916375
73. Vallverdú-Queralt A, Bendini A, Tesini F, Valli E, Lamuela-Raventos RM, Toschi TG. Chemical and sensory analysis of commercial tomato juices present on the Italian and Spanish markets. *J Agric Food Chem*. (2013) 61:1044–50. doi: 10.1021/jf304631c
74. Komes D, Ulrich D, Lovric T. Characterization of odor-active compounds in Croatian Rhine Riesling wine, subregion Zagorje. *Eur Food Res Technol*. (2006) 222:1–7. doi: 10.1007/s00217-005-0094-y
75. Griglione A, Liberto E, Cordero C, Bressanello D, Cagliero C, Rubiolo P. High- quality Italian rice cultivars: Chemical indices of ageing and aroma quality. *Food Chem*. (2015) 172:305–13. doi:

- 10.1016/j.foodchem.09, 082.
76. Maruyama FT. Identification of dimethyl trisulfide as a major aroma component of cooked brassicaceous vegetables. *J Food Sci.* (1970) 35:540–43. doi: 10.1111/j.1365-1970.tb04803.x
 77. Dias LG, Hacke A, Bergara SF, Villela OV, Mariutti LRB, Bragagnolo N. Identification of volatiles and odor-active compounds of aromatic rice by OSME analysis and SPME/GC-MS. *Food Res Int.* (2021) 142:110206. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110206
 78. Hatanaka A, Kajiwarra T, Horino H, Inokuchi K. Odor-Structure Relationships in n-Hexenols and n-Hexenais. *Zeitschrift für Naturforschung C.* (1992) 47:183–9. doi: 10.1515/znc-1992-3-403
 79. Sun SM, Chung GH, Shin TS. Volatile compounds of the green alga, *Capsosiphon fulvescens*. *J Appl Phycol.* (2012) 24 1003–13. doi: 10.1007/s10811-011-9724-x
 80. Guo X, Ho CT, Schwab W, Wan X. Effect of the roasting degree on flavor quality of large-leaf yellow tea. *Food Chem.* (2021) 347:129016. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129016
 81. Api AM, Belsito D, Botelho D, Bruze M, Burton GA Jr, Buschmann J, et al. RIFM fragrance ingredient safety assessment, trans-2-Hexenol, CAS Registry Number 928-95-0. *Food Chem. Toxicol.* (2018) 118:S49–58. doi: 10.1016/j.fct.06, 033
 82. Du XF, Kurnianta A, McDaniel M, Finn CE, Qian MC. Flavour profiling of ‘Marion’ and thornless blackberries by instrumental and sensory analysis. *Food Chem.* (2010) 121:1080–88. doi: 10.1016/j.foodchem.01, 053.
 83. Hatanaka A. The fresh green odor emitted by plants. *Food Rev Int.* (1996) 12:303–50. doi: 10.1080/87559129609541083
 84. Peerzada AM, O’Donnell C, Adkins S. Biology impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). *Acta Physiol Plant.* (2019) 41:136. doi: 10.1007/s11738-019-2920-z
 85. Soutullo EC, Muñoz CF, Paz RM, Alonso RM, Boente MJR. Hierbas medicinales: uso en la cultura gallega. *Revbigo.* (2015) 7:105–112. Available online at: http://revbigo.webs.uvigo.es/images/revbigo/2015/Revbigo_2015.pdf
 86. Zhou YX, Xin HL, Rahman K, Wang SJ, Peng C, Zhang H. *Portulaca oleracea* L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. *BioMed Res Int.* (2015) 2015:925631. doi: 10.1155./2015/ 925631
 87. Angelini LG, Carpanese G, Cioni PL, Morelli I, Macchia M, Flamini G. Essential Oils from Mediterranean Lamiaceae as Weed Germination Inhibitors. *J Agric Food Chem.* (2003) 51:6158–64. doi: 10.1021/jf02 10728
 88. Christenhusz MJ. *Tropaeolum majus*. *Curtis’s Bot Mag.* (2012) 29:331– 40. doi: 10.1111/curt.12002
 89. Jaiswal S, Rajwade, D. A Review on *Portulaca oleracea* (Nonia bhaji): a wonderful weed of Chhattisgarh. *Res J Pharm Technol.* (2017) 10:415–20. doi: 10.5958/0974-360X.2017.00426.7
 90. Fayette J, Hendricks KE, Ozores-Hampton M, Gioia D, Roberts FPD. First report of powdery mildew caused by *Oidiopsis haplophylli* on garden nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) in Florida. *Plant Dis.* (2016) 100:646. doi: 10.1094/PDIS-06-15-0697-PDN
 91. Gómez-Bellver C, Álvarez H, Sáez L. New contributions to the knowledge of the alien flora of the Barcelona province (Catalonia, Spain). *Orsis.* (2016) 30:167–89. doi: 10.5565/rev/orsis.36
 92. Conde-Hernández LA, Guerrero-Beltrán JA. Total phenolics and antioxidant activity of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale*. *Food Chem.* (2014) 142:455–60. doi: 10.1016/j.foodchem.07, 078.
 93. Pignone D, Martínez-Laborde JB. “Diplotaxis”. In: *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resource*. editor, Kole C. Berlin, Heidelberg:Springer. (2011) p. 137–147.

94. Lentini F, Venza F. Wild food plants of popular use in Sicily. *J Ethnobiol Ethnomedicine*. (2007) 3:15. doi: 10.1186/1746-426 9-3-15

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

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright © 2022 Fukalova Fukalova, Moreno-Peris, García-Martínez and Raigón Jiménez. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

V. DISCUSIÓN GENERAL

Las plantas silvestres infravaloradas, utilizadas por el consumo de las hojas frescas son una parte importante de las dietas y resulta de gran interés conocer la composición nutricional, sus compuestos no nutricionales y los perfiles aromáticos distintivos. Estas plantas han formado parte de la alimentación humana y pueden ser una alternativa a las verduras tradicionales de hoja verde y candidatas prominentes para su adaptación como nuevos cultivos sostenibles. Las especies seleccionadas para este estudio han sido escasamente estudiadas con anterioridad.

En la presente Tesis se ha evaluado la composición nutricional, el contenido en macro y micro minerales, la cantidad de compuestos no nutricionales con actividad biológica y los perfiles aromáticos de las siete especies infravaloradas de hoja comestible, inherentes a dos períodos del año: 1) dos especies del período primavera-verano (*P. oleracea* y *P. ruderale*) bajo diferentes condiciones de crecimiento, de forma silvestre y bajo cultivo ecológico; 2) cinco especies del período otoño-invierno (*S. media*, *T. majus*, *C. album*, *S. oleraceus*, *D. erucoides*), procedentes exclusivamente de condiciones de crecimiento silvestres. De esta manera, se ha realizado:

- Análisis proximal para determinar el contenido de nutrientes en cada una de las especies: la humedad, cenizas, proteína cruda, grasa, fibra cruda y carbohidratos, así como el valor calórico respectivo.
- Determinación del contenido de macro (Ca, Mg, K, Na, P) y micro minerales (Fe, Zn, Cu) en las partes aéreas comestibles de las especies estudiadas.
- Cuantificación de parámetros de calidad interna de las plantas como nitratos, pH y acidez total.
- Análisis de los componentes bioactivos: antioxidantes totales, componentes fenólicos totales y las clorofilas en todas las especies. En caso de las especies inherentes al período de primavera-verano se ha estudiado adicionalmente el perfil polifenólico comparando las condiciones de cultivo orgánico y silvestre.
- Caracterización de los compuestos volátiles como constituyentes aromáticos de las siete plantas infravaloradas de hoja comestible.

En base de los resultados obtenidos se puede enunciar la calidad de las plantas estudiadas como candidatas promisorias, para un alimento alternativo rico en nutrientes, que se beneficie de alto contenido de compuestos funcionales y tienen aromas atractivos para los platos diarios e innovaciones gastronómicas.

V.1. CALIDAD NUTRICIONAL

V.1.1. Plantas inherentes al período de primavera-verano: *P. ruderale* y *P. oleracea*

El análisis estadístico aplicado para el conjunto de datos obtenidos de las especies cuyo ciclo de cultivo se desarrolla la época de primavera verano (*P. oleracea* y *P. ruderale*) se concentró en evaluar las diferencias de composición de los brotes tiernos procedentes de las plantas cuyo ciclo de desarrollo se da bajo condiciones silvestres y de plantas procedentes de un ciclo de cultivo orgánico. Los parámetros más destacados fueron la humedad, el contenido mineral total, el contenido en fibra cruda y el contenido en carbohidratos. El contenido de humedad fue mayor en las especies de crecimiento silvestre que en sus homólogas cultivadas bajo condiciones de cultivo ecológico, mientras que el contenido de minerales totales (cenizas) fue menor en condiciones de cultivo orgánico. Estos valores independientemente del sistema de cultivo se encuentran por debajo del contenido de humedad reportado en el estudio de [Pereira et al. \(2020\)](#) en las hojas frescas de *P. oleracea* recolectadas en el noroeste de España con 91,0-92,7%, así como de *P. oleracea* de procedencia portuguesa con 91,8-93,4% en hojas frescas estudiada por [Pinela et al. \(2017\)](#). El mayor contenido en agua en las hojas de portulaca bajo crecimiento silvestre, de las zonas del noroeste y de Portugal, puede ser debido a una mayor precipitación de esas zonas frente a la pluviometría de las zonas mediterráneas. Probablemente, determinar el contenido de agua en las hortalizas confiere un interés particular como cualidad del producto que se relaciona con la frescura de las hojas verdes, cuando se consumen en crudo. Adicionalmente, el contenido de humedad en las plantas es una fuente potencial de agua y es necesaria porque puede contribuir en el 20% del total del consumo que debe provenir de los alimentos y es necesaria para mantener un adecuado balance hídrico en el organismo ([FNB, 2005](#)).

El contenido de cenizas que tiene relación con la cantidad de minerales presentes en las plantas fue más bajo en condiciones silvestres frente a las condiciones cultivadas, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$). La fibra cruda de las hojas de las especies estudiadas no presentó diferencias significativas entre los sistemas de crecimiento, en ninguna de las dos especies estudiadas y su contenido más alto se observó en *P. ruderale* bajo condiciones de crecimiento silvestre. A partir de estos resultados se puede establecer que la fibra es realmente el principal constituyente nutritivo de las plantas estudiadas, superando los valores de fibra reportados por [Kim et al. \(2016\)](#) en el rango de 0,9 hasta 2.1% en peso fresco, en diferentes variedades estudiadas de lechugas (iceberg, romana, de hoja morada). En el estudio realizado por [Tardío et al. \(2016\)](#), el contenido de fibra en *P. oleracea*

correspondió a 1,2% peso fresco, lo que representa aproximadamente la mitad del valor promedio encontrado en el presente estudio para la misma especie. Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio indican que las partes aéreas de *P. ruderale* y *P. oleracea*, indiferentemente del sistema de crecimiento, son una buena fuente de fibra cruda, si se compara con el contenido de fibra total en las hortalizas convencionales como lechuga de hoja verde (1,5%), rúcula (1,6%) o acelga (1%) (BEDCA, 2022). Consumir fibra en cantidades recomendadas aporta beneficios para la salud ya que reduce el riesgo de diabetes y cáncer de colon (Kim *et al.*, 2016). Adicionalmente, la fibra proveniente de la dieta ayuda a disminuir el nivel de colesterol sérico que es un factor de riesgo para las enfermedades cardiovasculares (Ullah *et al.*, 2017).

Los carbohidratos son los macronutrientes más abundantes en los alimentos de origen vegetal y la principal fuente de energía dietética, ya que proporcionan entre el 45-70% de la energía. En las plantas estudiadas pertenecientes al período primavera-verano fue otro componente nutricional destacado. Este macronutriente es responsable del buen funcionamiento metabólico, del mantenimiento de la temperatura corporal, de la regulación de los procesos gastrointestinales, entre otros (Raigón, 2020). Los resultados obtenidos han mostrado cantidades superiores de hidratos de carbono cuando las plantas proceden de sistemas de cultivo ecológico, para ambas especies, con diferencias significativas entre los contenidos, cuando el sistema de crecimiento es cultivo ecológico en *P. ruderale* ($p=0,0008$). En regímenes dietéticos, reconocidos como saludables para la población, se ha demostrado que las dietas altas en carbohidratos, particularmente en combinación con bajo consumo de alimentos de origen ganadero, son óptimas para una mejor vida y mayor salud (Wali *et al.*, 2021). Otros autores ponen énfasis en que la calidad de los carbohidratos dentro de un patrón dietético y de estilo de vida completo puede desafiar el equilibrio individual hacia la salud o enfermedad (Dall'Asta *et al.*, 2020).

Los minerales son nutrientes esenciales para buen funcionamiento del cuerpo humano (Quintaes y Diez-Garcia, 2015). Los minerales llegan a las plantas por la absorción a través de las raíces. Esta absorción se realiza en forma asimilable de los elementos, es decir en forma iónica, que es la forma en que se encuentran los minerales en la fase acuosa del suelo (Raigón, 2020). En la alimentación, se agrupan en macrominerales que son requeridos en cantidades mayores por el cuerpo humano y microminerales cuyo requerimiento son cantidades muy bajas, por lo que también se conocen como oligoelementos.

Del análisis comparativo del contenido de macrominerales en las especies bajo distintas condiciones de crecimiento, se desprende que el contenido de calcio y magnesio se

destacó en *P. ruderale* bajo condiciones de cultivo ecológico frente a su homóloga en condiciones silvestres. Por el contrario, los mismos minerales mostraron niveles superiores para las hojas de verdolaga (*P. oleracea*) en condiciones silvestres. El contenido de potasio, otro mineral notable, en ambas especies fue superior en plantas de crecimiento silvestre frente a los contenidos en las hojas de las plantas cultivadas, aunque las diferencias encontradas, regulación osmótica no es estadísticamente significativa para el caso de portulaca y sí es significativa para la verdolaga. Los vegetales comunes de hoja verde ricos en calcio son rúcula (160 mg·100 g⁻¹) y berros (157 mg·100 g⁻¹) (BEDCA, 2022), estos valores son inferiores a los de las especies evaluadas en el presente estudio. Por su alto valor en Ca, la especie *P. ruderale* podría considerarse una buena fuente de este mineral: 100 g de su consumo en fresco representa un aporte de más del 55% del requerimiento diario para adultos, si se estima una ingesta dietética de referencia de calcio en 1200 mg por día (WHO, 2004). La cantidad de magnesio resultó ser más dependiente de las condiciones de crecimiento con diferencias significativas (p=0,0000) en *P. oleracea* que en la especie *P. ruderale* (p=0,015), donde las diferencias encontradas no son significativas.

El valor promedio de la concentración de potasio fue alto en ambas plantas bajo las condiciones de crecimiento silvestre. No obstante, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas, para *P. oleracea*, donde este mineral duplicó la cantidad bajo condiciones de crecimiento silvestre, frente al crecimiento de cultivo orgánico. Esto puede relacionarse con menores concentraciones de potasio en los suelos de cultivo ecológico, y con una menor fracción de absorción de este elemento en su ciclo de asimilación durante el crecimiento y desarrollo vegetal. Las funciones del potasio en el organismo humano están relacionadas con su participación en la regulación osmótica y electroneutralidad de las células (Renna *et al.*, 2015). La relación entre Na/K es de gran interés para el control de la presión arterial y se recomienda que sea menor a la unidad (Jimoh *et al.*, 2011). Todas las especies de este estudio mantienen una baja relación entre estos dos cationes (<0,02) por tanto, teniendo en cuenta la recomendación, probablemente el consumo de estas especies puede contribuir en el control de la presión arterial entre otros factores.

En relación con el contenido en microminerales en las especies bajo diferentes condiciones de crecimiento, el elemento más destacado fue el hierro, sin presentar diferencias significativas entre las dos condiciones de crecimiento. Por el contrario, el contenido en zinc tuvo diferencias significativas entre sistemas de crecimiento en ambas especies, superando su concentración en *P. oleracea* cultivada a diferencia de *P. ruderale* donde la mayor concentración correspondió a la especie de condiciones silvestres. El

contenido en cobre fue mayor en condiciones cultivadas frente a sus homólogas silvestres para ambas especies. El estudio realizado por [Pinela et al. \(2017\)](#) de varias plantas silvestres comestibles del noreste de Portugal, reportó para *P. oleracea*, un contenido en Fe de 2.16 mg·100 g⁻¹, en Zn de 0,46 mg·100 g⁻¹ y en Cu de 0,27 mg·100 g⁻¹, valores que en el caso de Zn y Cu fueron inferiores a los hallados en este estudio para la misma especie y en el caso de Fe resultó ser superior al encontrado en este estudio.

Estos microminerales poseen varias funciones bioquímicas en las plantas, como estar relacionados con el proceso bioquímico que regula la formación de clorofilas, el papel del hierro se relaciona con el metabolismo de las proteínas, el zinc está ligado a la aceleración e intensidad del crecimiento vegetativo y el cobre participa en la formación de lignina, dando resistencia a las plantas ([Raigón, 2020](#)). Estos oligoelementos también tienen funciones importantes en el organismo humano como por ejemplo, el Fe influye en la formación de hemoglobina, el Zn está involucrado en el funcionamiento adecuado del sistema inmune entre otros y el Cu es vital en la síntesis de colágeno y en la movilización del hierro ([Jimoh et al., 2011](#); [Renna et al., 2015](#)). Estos datos arrojan que las especies silvestres inherentes al período de primavera-verano (portulaca y verdolaga) son una interesante fuente de hierro si se compara con los vegetales de hoja verde tradicionales como espinaca baby (1,26 mg·100 g⁻¹) ([USDA, 2019](#)) o rúcula (1,46 mg·100 g⁻¹) ([BEDCA, 2022](#)). Asimismo, estas especies podrían postularse como una buena fuente de zinc cuyo contenido es superior al reportado por [BEDCA \(2022\)](#) en rúcula (0,47 mg·100 g⁻¹) o en perejil (0,70 mg·100 g⁻¹).

El ciclo natural del nitrógeno en las plantas está influenciado por las prácticas agronómicas y por las condiciones geoclimáticas. Se ha observado para ambas plantas que sus especies silvestres acumularon más cantidad de nitratos que sus homólogas cultivadas. La explicación del alto contenido de nitratos en las especies silvestres puede deberse a que las plantas sometidas a estrés hídrico aumentan la concentración de estas especies químicas, al ser absorbido como elemento osmótico para adaptarse a las condiciones de estrés ([García, 2009](#)). Si se compara con los valores máximos permitidos en los vegetales de hoja verde como por ejemplo las espinacas frescas con 2500 ppm o lechugas cultivadas al aire libre con 2500 ppm ([Reglamento CE, 2005](#)), la especie *P. ruderalis* puede considerarse muy baja en nitratos y *P. oleracea* como moderada por su concentración en nitratos. El estudio realizado por [García \(2009\)](#) indica que *P. oleracea* puede acumular como máximo 1886 ppm de nitratos y esto tiene relación con la salinidad del suelo e intensidad de la luz. No obstante, esta cantidad de nitratos sigue estando por debajo de valores permitidos por el [Reglamento CE \(2005\)](#).

Los parámetros de pH y de acidez total tienen interés porque interfieren en las cualidades organolépticas de las plantas comestibles. En las plantas inherentes al período primavera-verano, el pH más alto se observó en las especies de crecimiento silvestre, con un valor promedio de 6,25 y en consecuencia el valor más bajo de acidez, la percepción más ácida, en las hojas de *P. oleracea* cultivada bajo condiciones de cultivo ecológico (pH=3,58). Por consiguiente y siendo los parámetros inversamente proporcionales entre sí, la acidez total más alta se presentó en las hojas de *P. oleracea* cultivada con 0,9% de ácido cítrico sin diferencias significativas frente a los valores de su homóloga silvestre.

V.1.2. Plantas inherentes al período de otoño-invierno: *S. media*, *T. majus*, *S. oleraceus*, *C. album*, *D. erucooides*

Se ha constatado una alta variabilidad en la composición nutricional de las cinco plantas inherentes al período de otoño-invierno. Este aspecto de la diversidad en la composición nutricional es altamente positivo, ya que la combinación de diferentes hojas en ensaladas y en otras mezclas, además de proporcionar sabores y aromas diversos, proporciona en su totalidad una composición nutricional altamente interesante. El análisis proximal arrojó un alto contenido de la humedad y de la fibra en la mayoría de las especies del estudio, el contenido mineral total o cenizas predominaron en la especie *C. álbum* (cenizo), la proteína total destacó en dos especies *C. album* y *D. erucooides* (wasabi mediterráneo). Por el contrario, el contenido lipídico fue muy bajo en todas las especies, lo que corrobora el hallazgo que muestra que las hortalizas de hoja verde son una fuente baja de lípidos (Zihad *et al.*, 2019).

El alto contenido de humedad se observó en todas las hojas frescas de las especies con el contenido mínimo en *C. álbum*, el intermedio en *D. erucooides* y el más alto en en pampolina (*S. media*). La especie *C. album* fue la única donde el contenido en agua de las hojas mostró diferencias significativas ($p=0,0000$) frente a los valores de las demás especies. Si se compara con la humedad encontrada en las hojas de dos especies similares que son *T. majus* (79,8%) y *S. oleraceus* (87,6%), procedentes de diferentes áreas de la cuenca mediterránea española estudiadas por Tardío *et al.* (2016), los valores del presente estudio son muy similares en el contenido de humedad. En el estudio de composición de las partes áreas de cerraça portuguesa (*S. oleraceus*), realizado por Pinela *et al.* (2017) la humedad mostró valores del 88,7% y Jimoh *et al.* (2011) han reportado la humedad en *S. oleraceus* sudafricano con valores de 85,37%. El resultado de este estudio en las hojas verdes frescas de *S. oleraceus* se ha mostrado más próximo a su homóloga portuguesa. Por el contrario, la

humedad de las hojas frescas de pampolina (*S. media*), con el valor más alto entre todas las especies de este estudio, resultó ser inferior al reportado por [Guil et al. \(1997\)](#) con 93,65% para hojas de *S. media* recolectada en el sureste de España. El mismo estudio reveló el contenido de humedad en *C. album* del 72,09%, resultando inferior al encontrado en la misma especie valenciana del presente estudio. En general, el contenido de la humedad es relevante en la composición de los alimentos ya que afecta directamente a la digestión y a la absorción de nutrientes presentes, y puede considerarse un índice de frescura en los vegetales de hoja verde ([Zihad et al., 2019](#)).

El nivel de fibra obtenido en las cinco especies de la temporalidad de otoño-invierno fue mayor en las hojas de *C. album* y en *T. majus*, seguido por *S. oleraceus* y *D. eruroides*. El menor contenido de fibra resultó para las hojas verdes frescas de *S. media*. El valor similar en el contenido de fibra fue informado en *S. oleraceus* portuguesa con 3,9% ([Pinela et al., 2017](#)). Por el contrario, el resultado del presente estudio para *C. album* superó el contenido de fibra reportado por [Saini y Saini \(2020\)](#) en su homóloga indu con 4%. La bibliografía revisada señala que las investigaciones encontradas se enfocan en el estudio de las flores como parte aérea comestible de la especie *T. majus*. El estudio realizado por [Navarro-González et al. \(2015\)](#) reporta el contenido 4,51% en fibra encontrado en las flores de *T. majus*. Al comparar este contenido de fibra cruda con las partes aéreas como son las hojas, se evidencia que las hojas proveen un mayor aporte de este macronutriente. En la especie *D. eruroides* los valores en contenido de fibra cruda fueron superiores que los informados en hojas de *Diplotaxis* spp. griega con 1,6% ([Siomos y Koukounaras, 2007](#)).

Los valores de minerales totales o cenizas variaron ampliamente sin presentar diferencias significativas entre los contenidos de las diferentes especies estudiadas en este trabajo, siendo el potasio el elemento mayoritario, seguido del calcio. La especie *C. album* destacó por el mayor contenido de cenizas y de la proteína cruda, seguida por la especie *D. eruroides*. Las hojas con menor contenido en proteína resultaron ser de la especie *S. media* y el menor contenido en cenizas se encontró en las hojas de capuchina (*T. majus*).

Por su significativo contenido de proteína cruda las hojas de *C. album* y *D. eruroides* podrían considerarse como muy nutritivas, aunque el estudio de ([Cavaiuolo y Ferrante, 2014](#)) resalta una mayor abundancia de este nutriente en las semillas de *D. eruroides* italiana. El estudio realizado por [Saini y Saini \(2020\)](#) muestra una alta calidad de la proteína de *C. album*, corroborando que es una fuente valiosa de aminoácidos esenciales como leucina, isoleucina y lisina, por lo que es cultivada en diferentes partes del mundo. El valor de proteína total reportada por estos autores en las hojas frescas de *C. album* procedente de

India correspondió a 4,3%, superando los valores encontrados en su homóloga de este estudio. Por el contrario, el contenido de proteína en *D. eruroides* de este trabajo es similar al reportado por [Siomos y Koukounaras \(2007\)](#) para su homóloga griega con 2,6%.

El contenido de cenizas se relaciona proporcionalmente con la cantidad individual de elementos minerales. El estudio arrojó que el potasio es el elemento mayoritario en las hojas de todas las especies, seguido por el magnesio en *C. album* y en *D. eruroides*. En general, la fotosíntesis que realizan las plantas depende del estado del Mg en varios aspectos. El magnesio como átomo central es un componente esencial de las clorofilas *a/b* que a su vez participa en los procesos fotosintéticos con impacto en los metabolismos primarios (energéticos) de las plantas. Por lo tanto, su consideración en el rendimiento de los cultivos y en los parámetros de calidad de plantas es muy importante ([Gerendás y Führs, 2013](#)). Otro mineral destacado resultó ser el calcio en la especie *C. album* cuya concentración es muy similar a la encontrada en su homóloga indú ($309,0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) en el estudio realizado por [Saini y Saini \(2020\)](#). La concentración considerable encontrada indica que las hojas de *C. album* son una fuente rica en este mineral, pudiendo cubrir entre 25-30% de la ingesta diaria de calcio recomendada por FAO/WHO (1000-1300 mg/día). Los microminerales como hierro, zinc y cobre destacaron en las hojas de *C. album*, y se acentuó la relevancia de hierro y zinc en *S. oleraceus* sin presentar diferencias significativas entre los contenidos de minerales mencionados para estas dos especies. La especie pobre en hierro fue *T. majus*, mientras en zinc fue *D. eruroides*. Cantidades moderadas de cobre mostraron la mayoría de las especies de este estudio. Un estudio realizado con las hojas y semillas de rúcula silvestre (familia Brassicaceae) revela que las hojas contienen concentraciones más altas de minerales totales con mayor abundancia en Ca, Mg, K y Fe, mientras que Ca, Na, P y Cr prevalecen en las semillas.

Los oligoelementos como Fe, Zn y Cu entre otros son esenciales para el crecimiento normal de las plantas, su protección ambiental y para completar su ciclo de vida. Las diferencias en las concentraciones de varios minerales pueden deberse a la composición mineral del suelo, y sobre todo a la capacidad de las plantas para acumular los elementos del medio ambiente resguardando sus necesidades fisiológicas o como medida de precaución, utilizándolos como biomonitores de la contaminación ambiental ([Bukhsh et al., 2007](#)).

El nitrógeno, que juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, presenta su principal absorción en forma de nitratos. Se absorben por la raíz y se movilizan a otros órganos. Cuando su absorción excede su asimilación, los nitratos empiezan acumularse en las plantas, especialmente en las hortalizas de hojas. La cantidad de nitratos

encontrada en las especies inherentes al período otoño-invierno mostró muy baja concentración en comparación con las especies del período primavera-verano. Observar la concentración de este componente químico, como parámetro antinutritivo, forma parte de la calidad de los alimentos, ya que altos niveles de nitratos en las partes comestibles de los vegetales pueden ser un factor de riesgo (Bian *et al.*, 2018). Las diferencias encontradas entre las concentraciones de nitratos en función del período de año pueden estar relacionado con la intensidad de la luz y la salinidad del suelo como indica el estudio realizado por Bonasia *et al.* (2017) con la especie *D. tenuifolia* (L.) DC.

Los valores de la acidez total, conocida también como acidez titulable, y del pH tienen una fuerte correlación, y ambos ejercen una influencia importante en la percepción de gusto durante la ingesta del alimento. El parámetro de pH más bajo se encontró en *D. eruroides* y el más alto en *C. álbum*; la acidez total, siendo inversamente proporcional al pH fue mayor en *D. eruroides*. Si se compara con las especies silvestres del período primavera-verano, los valores del pH y de la acidez se presentaron muy similares lo que indica que la temporalidad de las plantas no influye sobre estos dos parámetros químicos que contribuyen en la calidad organoléptica de las especies.

V.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS

La presencia de los compuestos fitoquímicos en las plantas se ve afectada por una variedad de factores como genotipo, estado vegetativo, condiciones geoclimáticas y época de la cosecha (Paulauskienė *et al.*, 2021). El estudio realizado en los compuestos bioactivos como son los fenoles totales, antioxidantes totales y clorofilas demostró que las siete especies son una fuente elevada de estos compuestos muy beneficiosos para la salud.

V.2.1. Contenido de fenoles y antioxidantes totales

El contenido de los compuestos fenólicos totales (PFT) encontrado en las especies inherentes al período de otoño-invierno reveló niveles heterogéneos de PFT en el orden siguiente: *S. media* y *C. álbum* > *T. majus* > *S. oleraceus* > *D. eruroides*. Las dos especies silvestres del período primavera-verano mostraron el rango más homogéneo en comparación con las especies de otoño-invierno entre ambas especies que fueron *P. oleracea* y *P. ruderale*. En todos los casos los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de las hojas entre los niveles de PFT en las siete especies estudiadas. Los valores obtenidos en este estudio, expresados sobre peso fresco, demuestran un alto contenido de los compuestos fenólicos que superan a las verduras de hoja tradicionales, como por ejemplo espinaca cruda (113 mg EAG·100 g⁻¹) o lechuga francesa

(278 mg EAG·100 g⁻¹), aunque estos valores son inferiores al contenido fenólico en perejil (691 mg EAG·100 g⁻¹ pf) o cilantro (516 mg EAG·100 g⁻¹ pf) ([Portal Antioxidantes, 2022](#)). Algunos estudios demuestran que, con el crecimiento de las hojas, los niveles de compuestos fenólicos tienden a disminuir y su mayor nivel se encuentra en las plantas de madurez media, porque en esta etapa son metabólicamente más activas ([Pandjaitan et al., 2005](#); [Uddin et al., 2012](#); [Silva y Carvalho, 2014](#)).

Una serie de los compuestos fenólicos, entre los cuales se encuentran los polifenoles, tienen propiedades de eliminar los radicales, mostrando de esta forma su capacidad antioxidante, y cuyo consumo en las últimas décadas se ha convertido en el sinónimo de salud. Como constatan varios estudios, la alta ingesta de polifenoles reduce el estrés oxidativo celular, previene las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y el cáncer. También los polifenoles ejercen una importante actividad antiinflamatoria ([Liu, 2013](#); [Croft, 2016](#); [Espín et al., 2017](#); [Chang et al., 2018](#)). Los vegetales son una fuente natural de compuestos fenólicos, estos componentes antioxidantes se relacionan con las características organolépticas de los alimentos vegetales, en particular con las propiedades de color y sabor. Debido a su inestabilidad y una rápida transformación en varios productos de reacciones enzimáticas y químicas cuando las células de la planta detectan una amenaza, se incrementa la complejidad de la composición de los polifenoles vegetales, que pueden pasar a la dieta humana tras la ingesta ([Cheyner, 2005](#)).

La capacidad antioxidante total (AOT) de las especies del presente estudio ha mostrado valores más bajos en las especies del período otoño-invierno, frente a los valores de las especies de crecidas durante la primavera-verano, esto puede ser debido a que los inviernos en la zona son suaves, mientras que los veranos cada vez son más intensos en olas de calor, lo que puede generar que las plantas silvestres establezcan mecanismos de defensa frente al estrés abiótico, incrementando con ello la capacidad antioxidante. Así, las condiciones de temperaturas más altas y mayor intensidad de luz han activado el metabolismo secundario de la planta, provocando la producción de los compuestos antioxidantes, como ha demostrado la investigación realizada por [Bonasia et al. \(2017\)](#) con varios genotipos de *D. tenuifolia*. Las partes aéreas de la verdolaga silvestre son las que muestran la mayor capacidad antioxidante. Entre las especies del período de otoño-invierno destacó el contenido alto de AOT en *T. majus*. Las demás especies presentaron valores inferiores, estando el contenido más bajo en las hojas de cerraja (*S. oleraceus*). En caso de la especie *T. majus* sus partes más consumidas son las flores y hojas. Según las fuentes bibliográficas consultadas el mayor número de investigaciones se centran en las flores de esta especie,

donde la cantidad de antioxidantes llega a 2950 mg·100 g⁻¹ pf (Bazylo *et al.*, 2013). Al comparar la cantidad reportada en las flores con el resultado obtenido en este estudio en las hojas frescas de la misma especie, se denota la superioridad del contenido de los antioxidantes en las hojas que posiblemente se debe a la mayor exposición a las condiciones adversas que estimulan la síntesis de estos compuestos bioactivos.

Siendo sustancias termolábiles, los máximos niveles de antioxidantes y por ende de sus beneficios, se obtienen al consumir las partes aéreas en estado fresco. El estudio de Youssef y Mokhtar (2014) corrobora que la aplicación de tratamientos térmicos sobre el material vegetal causa una significativa disminución de los antioxidantes en las hojas de *P. oleracea*. Adicionalmente, el estudio de Fernández-Poyatos *et al.* (2021) concluye con mayor precisión que la capacidad antioxidante de las partes aéreas de *P. oleracea* disminuye en un 40%, en comparación con los valores de la parte fresca.

En general, la capacidad antioxidante total más alta se asocia con la mayor concentración de compuestos fenólicos y compuestos hidrofílicos (Bonasia *et al.*, 2017). Estas relaciones no se han podido establecer con los resultados del presente estudio, excepto en *P. oleracea* donde se halló una correlación lineal positiva entre PFT y AOT ($r = +0,939$). A pesar de que el método y las condiciones de extracción (temperatura y tiempo) fueron variables controladas, la diferencia en la capacidad antioxidante total podría deberse a las características de los constituyentes con propiedad antioxidante que son propios para cada especie, y probablemente en caso de *P. ruderale*, podrían ser las sustancias de carácter lipofílico (vitaminas, clorofilas, carotenoides, etc.) las que han impedido su extracción completa con el disolvente polar utilizado en el presente estudio.

V.2.2. Perfil polifenólico

El efecto de las condiciones de crecimiento y de la especie son los factores influyentes en la acumulación de polifenoles en el material vegetal. Los compuestos fenólicos presentes en las plantas participan en su defensa, mientras que para los seres humanos aportan beneficios para la salud (Oliveira *et al.*, 2014). En el presente estudio, el contenido de compuestos fenólicos en las especies inherentes al período primavera-verano mostró una variabilidad significativa entre los sistemas de cultivo. El mayor contenido fenólico fue para las hojas frescas de las especies silvestres, mientras que las especies cultivadas presentaron valores más bajos. En el perfil polifenólico realizado se identificaron dos categorías de compuestos: ácidos hidroxicinámicos y flavonoides, en total diez compuestos entre ambas categorías. De los ácidos hidroxicinámicos, cinco compuestos eran comunes para ambas

plantas en las condiciones tanto silvestres, como de cultivo orgánico. El ácido clorogénico fue el ácido dominante en *P. ruderale* sin diferencias significativas entre las condiciones de crecimiento y, el segundo compuesto fue el ácido *p*-cumárico con mayor concentración cuando las condiciones de crecimiento son bajo cultivo orgánico. No se detectó ácido gálico en *P. oleracea* y otros compuestos fenólicos fueron más altos en condiciones cultivadas que en condiciones silvestres para esta especie. El estudio realizado por [Sdouga et al. \(2020\)](#) afirmó la influencia de las condiciones de cultivo sobre las concentraciones que se pueden acumular de compuestos fenólicos en las plantas. Además, los autores [Reyes et al. \(2007\)](#), indicaron que la cantidad de ácidos hidroxicinámicos dependen del progreso vegetativo de las plantas, y su mayor contenido se encuentra en hojas en desarrollo que tienen mayor actividad metabólica.

En la categoría de flavonoides el perfil hallado en las plantas estudiadas mostró la presencia de seis compuestos diferentes en *P. ruderale* vs. y cuatro en *P. oleracea* (sin rutina ni luteolina). La miricetina en *P. ruderale* sólo se detectó en las condiciones de cultivo orgánico, mientras que en *P. oleracea* este componente estuvo presente en ambas condiciones de crecimiento, incrementándose significativamente en condiciones de cultivo orgánico. De forma general, el cultivo ecológico fue favorable para la síntesis de flavonoides en las especies infravaloradas estudiadas. La ausencia de los compuestos fenólicos como el ácido gálico, rutina y luteolina en *P. oleracea* probablemente puede deberse al momento de la cosecha de la planta que corresponde a un estado maduro de desarrollo, así como a factores genéticos como muestran los autores [Reyes et al. \(2007\)](#) para diferentes vegetales convencionales. En otro estudio realizado por [Erkan \(2012\)](#), la quercetina y el kaempferol no se encontraron en *P. oleracea* procedente de la zona turca y se relacionó la edad de la planta con la síntesis de estos compuestos.

El perfil polifenólico hallado está en consonancia con las correlaciones establecidas previamente entre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante. En *P. oleracea*, los antioxidantes y los fenoles tienen una fuerte relación a pesar de la ausencia de algunos compuestos polifenólicos en su perfil, especialmente los flavonoides. Por el contrario, *P. ruderale*, cuyo perfil polifenólico mostró una mayor cantidad de compuestos, especialmente flavonoides, aportó un poder antioxidante moderado. Esto indica que esta especie posee otros compuestos bioactivos antioxidantes que podrían ser objeto de futuras investigaciones.

V.2.3. Contenido de clorofilas

Las principales clorofilas que se encuentran en los vegetales de hoja verde son clorofilas *a* y *b*, cuya suma proporciona el resultado de clorofila total. De las siete especies de este estudio el mayor contenido de clorofila total se encontró en las hojas de las especies del período primavera-verano, en concreto *P. ruderale* > *P. oleracea*. El contenido de clorofilas en las hojas de las especies del período otoño-invierno fue sustancialmente menor y, sobre todo, en la especie *D. erucooides*; el mayor contenido se encontró en *S. oleraceus*. Para las otras especies inherentes al período de otoño-invierno, el contenido de clorofila total no cambió significativamente siendo el orden de las especies con su mayor concentración *C. album* > *T. majus* > *S. media*. En todas las especies se constató el contenido de clorofila *a* significativamente más alto que la clorofila *b* ya que estas dos clorofilas llevan la relación inversa entre ellas debido a que la clorofila *b* es sintetizada a partir de la clorofila *a* por oxidación de un grupo metilo en el anillo B (Alkurdi y Supuka, 2015). La función principal de la clorofila *b* es recolectar energía solar y transferirla a la clorofila *a*. Además, Sakuraba *et al.* (2012) demostraron que el aumento de la síntesis de la clorofila *b* retrasa el envejecimiento de las plantas. La relación clorofilicica *a/b* fue similar en *S. media*, *S. oleraceus*, *D. erucooides* y *P. ruderale* silvestre, siendo la más baja en la especie *T. majus* y *P. oleracea* silvestre, y la más alta en la especie *C. album*.

Medir las clorofilas permite determinar el estado de bienestar de las plantas, algo observable a la vista por las mayores tonalidades del color verde, que a su vez se relaciona con la calidad nutricional, y la relación entre las clorofilas *a/b* puede considerarse como un indicador de senescencia, estrés y daño a los vegetales (Lefsrud *et al.*, 2007; Nkcukankcuka *et al.*, 2022). Los valores más bajos para esta relación confirman este efecto. En concreto, excepto para las hojas de capuchina, donde los carotenoides pueden tener mayor presencia y por ello sus hojas son de un color verde más pálido, en el resto de las especies estudiadas, la relación clorofilicica *a/b* es alta.

Por otro lado, debido a la falta de referencias o a las distintas metodologías que se aplican para determinar el contenido de clorofilas, solo se pueden comparar muestras de este estudio con los vegetales de hoja verde similares como la espinaca, que es una de las mayores fuentes de clorofilas. Un gramo de espinaca contiene 3000 mg de clorofila y es el componente no-nutricional más abundante en este vegetal que tiene propiedades de prevenir eficazmente el aumento de peso y la inflamación sistémica, y aliviar notablemente la intolerancia a la glucosa (Li *et al.*, 2019). Sin embargo, los beneficios que aportan las

clorofilas son mayores cuando las hojas verdes se consumen en fresco ya que con la cocción su contenido disminuye alrededor del 14%, resultando predominantemente la degradación de la clorofila *a* (Khachik *et al.*, 1986). De esta forma, los datos generados sobre la composición de clorofilas en las siete plantas de este estudio podrían ser la base para sugerir la inclusión de estas verduras de hoja en la dieta diaria, en forma de ensaladas o batidos, para superar problemas de salud, como por ejemplo la obesidad y diabetes entre otras.

V.3. PERFIL DE VOLÁTILES

El aroma es una de las principales características que determinan la calidad organoléptica de los alimentos. El aroma de cada especie es una mezcla única de compuestos volátiles que constituyen el perfil volátil y de productos secundarios no nutrientes. Esta gran variedad de compuestos volátiles, con diferentes polaridades y concentraciones, es lo que contribuye a la complejidad del aroma final en cuya apreciación interfiere el umbral de percepción de cada componente.

El estudio estadístico del contenido de compuestos volátiles en las siete especies infravaloradas inherentes a los dos períodos estacionales mostró una significativa contribución del genotipo en la mayoría de los compuestos individuales ($p < 0,05$), excepto a los compuestos de la familia de alcoholes ($p = 0,4226$), de las cetonas ($p = 0,0853$) y el compuesto *p*-cymeno de la familia de los monoterpenos ($p = 0,3999$). Unido al factor genético, la época del año de la cosecha de las plantas también puede ser determinante sobre los perfiles volátiles encontrados ya que cada estación aporta condiciones climáticas diferentes. Estas condiciones climáticas generan factores abióticos y bióticos que tienen influencia sobre la síntesis de los metabolitos secundarios.

Se han encontrado un total de 37 compuestos volátiles distribuidos en 11 familias químicas, con diferencias tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. A nivel cuantitativo, los grupos con una mayor abundancia, según los niveles totales de volátiles (áreas de pico), fueron las familias de los benzenoides, de los monoterpenos y de los aldehídos de cadena media. Cada una de estas familias mayoritarias incluye ocho compuestos volátiles identificados. Otros compuestos volátiles en cantidades menores se han encontrado en familias químicas minoritarias que fueron las pirazinas (tres compuestos), los alcoholes grasos (dos compuestos), sesquiterpenos (dos compuestos) y los órgano-oxigenados (dos compuestos). Las familias químicas de alcoholes, de carbonos ramificados insaturados, de cetonas y de los órgano-sulfurados, se presentaron de forma puntual, con un único componente volátil.

A nivel cualitativo, el perfil volátil más completo lo presentaron las hojas de la especie cerraja (*S. oleraceus*), permitiendo la identificación de 11 familias químicas, seguidas de las hojas de quirquiña (*P. ruderale*) y cenizo (*C. álbum*), que mostraron una diversidad de 9 familias químicas, entre los componentes volátiles identificados. Con ocho familias químicas se caracterizaron las hojas de pamplina (*S. media*) y verdolaga (*P. oleracea*), y el menor número de las familias químicas se encontró en las hojas de capuchina (*T. majus*) y en el wasabi mediterráneo (*D. erucooides*), con seis familias químicas identificadas en cada una.

El estudio comparativo de los compuestos volátiles a nivel individual permitió ver un mayor número de diferencias significativas entre las especies que a su vez permitió, a través de un análisis de componentes principales, agrupar las especies estudiadas en cinco subgrupos. Los subgrupos I, III, IV y V se consolidaron como una única especie, evidenciando la independencia de cada una de ellas, con respecto al perfil aromático, en concreto las especies han sido *T. majus*, *P. ruderale*, *D. erucooides* y *P. oleracea*, respectivamente, mientras que el subgrupo II agrupó a las especies *S. oleraceus*, *S. media* y *C. álbum*, con más trazas de identidad en común. Estas especies que formaron el mismo subgrupo se caracterizaron por una distribución más homogénea de las familias químicas mayoritarias, que fueron aldehídos de cadena media, seguidos por los compuestos benzenoides. Por el contrario, los subgrupos formados por las especies individuales se caracterizaron por ser más heterogéneos e incluso, se observó la ausencia en la tipificación grupal, de algunos compuestos volátiles identificados y, por el contrario, se mostró la presencia de aromas diferenciadores que fueron en la especie *P. ruderale*: eugenol, (E)- β -ocimeno y α -copaeno; en *D. erucooides*: nitrilo de bencilo; en *T. majus*: alcohol de bencilo y en *P. oleracea*: 2-isopropil-3-metoxi-pirazina. Estos aromas diferenciadores provinieron de las tres familias químicas de benzenoides (cuatro compuestos volátiles), de monoterpenoides (un compuesto volátil) y de pirazinas (un compuesto volátil), evidenciando la fuerza para la caracterización de estos componentes químicos.

Los componentes volátiles vegetales están representados por múltiples compuestos químicos que reflejan la diversidad de sus orígenes. La combinación de varias sustancias volátiles es responsable del aroma característico de cada planta y su composición varía en función de la especie y del estado de madurez fisiológica. A pesar de la simplicidad estructural de los compuestos volátiles vegetales, estos compuestos son altamente bioactivos, lo que despierta un creciente interés por sus propiedades biológicas. Los compuestos volátiles que han destacado por su mayor presencia han sido bencil isotiocianato

en la especie *T. majus* y bencil nitrilo en *D. erucoides*. El compuesto bencil nitrilo deriva de aminoácidos, en concreto de la fenilalanina por vía enzimática y es el precursor compartido en la biosíntesis de glucósidos cianógenos y glucosinolatos, que son los compuestos de la defensa nitrogenada en las plantas. Su aroma tiene notas de almendras amargas y picantes (Liao *et al.*, 2020). En el estudio de Liao *et al.* (2020) también se resalta que en el té *oolong* las cantidades de bencil nitrilo y su acumulación aumentan por el estrés ofensivo y continuo que experimentan las hojas durante la etapa de fermentación del té. Además de ser precursor, el bencil nitrilo puede degradar a benzaldehído que en el caso de *D. erucoides* fue el segundo componente de mayor abundancia en su perfil volátil. Teniendo en cuenta que la síntesis de este compuesto aromático está estrechamente relacionada con un estrés metabólico continuo, y que el nitrilo de bencilo es un precursor de los glucosinolatos, podría ser interesante una línea de futuras investigaciones con la especie *D. erucoides*, evaluando estas vías de síntesis biológicas.

El componente volátil isotiocianato de bencilo fue el compuesto predominante en la especie *T. majus*. Este constituyente tiene notas odoríferas que se describen como picante y al aceite de colza (Zhou *et al.*, 2019) y su presencia es el resultado de la transformación enzimática de bencilglucosinolato que proviene de los metabolitos secundarios en las plantas de las familias de las crucíferas (Lykkesfeldt y Moller, 1993). Las proteínas específicas de las plantas son responsables de la diversificación de metabolitos formados por hidrólisis de glucosinolatos. En esta hidrólisis se generan nitrilos simples y isotiosianatos entre otros. Se ha informado que los nitrilos simples son menos tóxicos para los patógenos de las plantas y los insectos herbívoros que los isotiocianatos, y las proteínas específicas tienen funciones ecológicas en la coevolución de las plantas (Burow y Wittstock, 2009). También se ha descubierto que los glucosinolatos tienen actividad como bioherbicida, bioplágica y antioxidante (Yaqoob *et al.*, 2020). Al mismo tiempo, se conocen sus propiedades fungicidas, bactericidas, nematocidas, pero también han sido investigados por sus atributos quimioprotectores contra el cáncer (Fahey *et al.*, 2001; Sehrawat y Singh, 2016). En el trabajo de revisión realizado por Azimi *et al.* (2015) se constata que el isotiocianato de bencilo entre otros compuestos fitoquímicos tiene una acción beneficiosa contra las células de cáncer de páncreas a través de cuatro o más mecanismos y la investigación de Yamada *et al.* (2021) afirma que este compuesto exhibe un efecto bactericida rápido y fuerte contra patógenos orales involucrados en la enfermedad periodontal. Otro dato de interés del estudio realizado por Dorsch *et al.* (1984) donde se destacan los efectos protectores de isotiocianato de bencilo contra el asma bronquial al igual que otros dos compuestos como el isotiocianato

de etilo y el isotiocianato de alilo. De esta forma los glucosinolatos y sus productos de descomposición como es el isotiocianato de bencilo tienen una actividad biológica que ejerce efectos beneficiosos para el cuerpo humano

Los aromas diferenciadores de la especie *P. ruderale* estuvieron presentes en cantidades bajas. El compuesto eugenol es una versión reducida del alcohol coníferico, un precursor de la lignina que a su vez en forma desoxigenada tiene aplicaciones medicinales potenciales (Maffei *et al.*, 2011). La presencia de este compuesto parece estar relacionada con el aroma dulce (Wang *et al.*, 2011) y olor picante aun cuando se encuentra en cantidades trazas (Jørgensen *et al.*, 2000). La liberación del componente volátil (E)- β -ocimeno es muy común en las hojas y flores de muchas especies de la mayoría de las familias vegetales, siendo un fitoquímico que desempeña varias funciones biológicas en las plantas, que varían según el órgano y el momento de la emisión (Farré-Armengol *et al.*, 2017). Este compuesto volátil es de la familia de los monoterpenoides tiene dos isómeros: *trans* (*E*) que es el más común y abundante y el isómero *cis* (*Z*). En este estudio se ha identificado sólo el isómero *trans* que se encuentra en los aromas florales del 71% de las familias de plantas en la lista de compuestos de aromas florales identificados por Knudsen *et al.* (2006). Ambos isómeros tienen descripción aromática similar, que se define como “olor a hierbas” con notas florales, además de la particularidad que el isómero *trans* también aporta el aroma “delicado y elegante” (Cai *et al.*, 2014). Las propiedades organolépticas de α -copaeno se describen como “leñoso, picante y floral” además de aportar las notas de fragancia “herbal y a tierra” (TGSC, 2022). Como indica el estudio realizado por Silvério *et al.* (2013), la actividad biológica destacada que se atribuye al α -copaeno es la actividad antioxidante, una actividad inherente a la especie de la familia Asteraceae.

El compuesto aromático alcohol de bencilo presentó una cantidad trazas dentro los volátiles totales de la especie *T. majus*, a pesar de que los alcoholes y los aldehídos aromáticos son componentes más comunes en las flores. La interconversión de alcoholes en aldehídos y viceversa podría desempeñar un papel importante en la modulación del aroma (Tava *et al.*, 2020). El alcohol de bencilo junto con otros compuestos minoritarios presentes como los aldehídos son posiblemente los principales contribuyentes del aroma “fresco y floral” de las hojas verdes (Wang *et al.*, 2011; Roy *et al.*, 2019).

Las pirazinas se forman principalmente a través de la reacción Millard y poseen umbrales de olor extremadamente bajos, aportando fuertes divergencias aromáticas que se definen como “tostado y nuez” (Zhou *et al.*, 2019). Todas las estructuras químicas de pirazinas comparten un anillo heterocíclico con dos átomos de nitrógeno en posición 1 y 4,

y diferentes cadenas laterales. Las cadenas laterales y sus efectos estéricos y electrostáticos son responsables de sus propiedades aromáticas únicas, con un espectro de impresiones de sabor muy amplio. Estas impresiones que aportan van desde aromas a verduras (pimiento morrón, guisantes y hojas de hierba), hasta leñosas (terroso) y algunos malos olores (mohoso y húmedo). Es de interés el espectro característico de sabor “herbáceo y verde” por lo que en las plantas comestibles aporta una calidad organoléptica deseable (Zhao *et al.*, 2019). La producción de las pirazinas es regulada por factores bióticos y abióticos, factores genéticos, así como por los estímulos ambientales, como luz, temperatura, humedad, e irrigación o aporte de agua de lluvia, entre otros.

Los perfiles volátiles particulares, las texturas y colores propios en su conjunto contribuyen a la calidad organoléptica de las plantas y hacen de ellas un componente atractivo en las nuevas tendencias innovadoras de la cocina gourmet.

V.4. DISPONIBILIDAD LOCAL, RECOLECCIÓN Y POSIBILIDADES DE USO DE LAS PLANTAS INFRAVALORADAS

Con vista de poder generar un aprovechamiento de los recursos de de la biodiversidad como son las plantas silvestres comestibles, en este apartado se discute su recolección y aprovechamiento, así como la disponibilidad local de estos recursos.

Habitualmente la recolección de plantas silvestres comestibles se realiza de forma manual lo que implica un bajo impacto sobre la conservación y protección del medio ambiente. El reglamento europeo de producción ecológica permite la recolección silvestre, y en sus normas incluyen la aplicación de las mejores prácticas en materia de medio ambiente y clima, un elevado nivel de biodiversidad, la conservación de los recursos naturales, de tal forma que la recolección debe llevarse a cabo sin favorecer la erosión ni el agotamiento del suelo, ni perjudicar la estabilidad del hábitat (Reglamento UE, 2018). En este sentido la actividad consecuente de la recolección de las plantas silvestres infravaloradas no debe suponer una amenaza para la conservación y protección del medio ambiente.

Las plantas estudiadas son plantas ruderales y silvestres de rápido crecimiento y amplia distribución en la zona del estudio, por lo que no presentan ser sensibles a su recolección, además su disponibilidad local cubre la demanda de consumo. Asimismo, se recolectan las partes aéreas como las hojas y los tallos tiernos, lo que no implica la extracción de toda la planta, lo que permite varias recolecciones durante el ciclo de crecimiento. Es más, cabe la posibilidad que cuando más se recolecten, más se incremente su producción. Podría ser de gran interés realizar estudios de cada especie basándose en su recolección a

largo plazo que permita evaluar su explotación sostenible y la capacidad productiva. De esta forma se lograría promover la recolección silvestre comercial de especies culturalmente apreciadas y/o mantener las prácticas tradicionales y tasas de aprovechamiento de estas especies para autoconsumo y/o comercialización en circuitos de proximidad (Molina *et al.*, 2014). Y sobre todo, las plantas silvestres comestibles son especialidades alimentarias locales de alta calidad y nutrición saludable que forman parte del paisaje biocultural de un lugar determinado (Quave y Pieroni, 2014). Por tanto, el conocimiento sobre los recursos ambientales involucrados en la producción de alimentos es un factor valioso en el proceso de seguridad alimentaria y en el desarrollo de un valor añadido de estos recursos. Por su rusticidad son muy poco exigentes y adaptables a muchos tipos de suelos y condiciones climáticas extremas, mostrando de esta forma un gran potencial agronómico y rusticidad.

Para potenciar el uso de estas especies sería importante centrarse en la calidad organoléptica, evaluando diferentes atributos por los consumidores, esto permitiría complementar la caracterización gustativa sobre las plantas infravaloradas estudiadas.

V.5. REFERENCIAS DISCUSIÓN GENERAL

- Alkurdi, M.I., Supuka, J. (2015). Assessment of *Cupressus sempervirens* L. hardness through carbohydrates and pigments content in the leaves. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 14(2), 3.
- Azimi, H., Khakshur, A.A., Abdollahi, M., Rahimi, R. (2015). Potential new pharmacological agents derived from medicinal plants for the treatment of pancreatic cancer. *Pancreas*, 44(1), 11-15. doi:10.1097/MPA.000000000000175
- Bazylo, A., Granica, S., Filipek, A., Piwowarski, J., Stefańska, J., Osińska, E., Kiss, A.K. (2013). Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropaeolum majus* L. *Industrial Crops and Products*, 50, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.003>
- BEDCA (2022). Base de datos Española de Composición de Alimentos. <https://www.bedca.net/bdpub/>
- Bian, Z., Cheng, R., Wang, Y., Yang, Q., Lu, C. (2018). Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.010>
- Bonasia, A., Lazzizzera, C., Elia, A., Conversa, G. (2017). Nutritional, biophysical and physiological characteristics of wild rocket genotypes as affected by soilless cultivation system, salinity level of nutrient solution and growing period. *Frontiers in Plant Science*, 8, 300. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00300>
- Bukhsh, E., Malik, S.A., Ahmad, S.S. (2007). Estimation of nutritional value and trace elements content of *Carthamus oxyacantha*, *Eruca sativa* and *Plantago ovata*. *Pakistan Journal of Botany*, 39(4), 1181-87. [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/39\(4\)/PJB39\(4\)1181.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/39(4)/PJB39(4)1181.pdf)
- Burow, M., Wittstock, U. (2009). Regulation and function of specifier proteins in plants. *Phytochem Rev* 8, 87-99 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11101-008-9113-5>

- Cai, X., Mai, R., Zou, J. et al. (2014).** Analysis of aroma-active compounds in three sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars by GC-olfactometry and GC-MS. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 15, 638–648. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1400058>
- Cavaiuolo, M., Ferrante, A. (2014).** Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients*, 6(4), 1519-1538. <https://doi.org/10.3390/nu6041519>
- Chang, H.; Lei, L.; Zhou, Y.; Ye, F.; Zhao, G. (2018).** Dietary Flavonoids and the Risk of Colorectal Cancer: An Updated Meta-Analysis of Epidemiological Studies. <https://doi.org/10.3390/nu10070950>
- Cheynier, V. (2005).** Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 223S-229S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.223S>
- Croft, K.D. (2016).** Dietary polyphenols: Antioxidants or not?. *Archives of biochemistry and biophysics*, 595, 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.11.014>
- Dall'Asta, M., Del Rio, D., Tappy, L., Potì, F., Agostoni, C., Brighenti, F. (2020).** Critical and emerging topics in dietary carbohydrates and health. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 71(3), 286-295. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1661979>
- Dorsch, W., Adam, O., Weber, J., Ziegeltrum, T. (1984).** Antiasthmatic effects of onion extracts-detection of benzyl-and other isothiocyanates (mustard oils) as antiasthmatic compounds of plant origin. *European journal of pharmacology*, 107(1), 17-24. [https://doi.org/10.1016/0014-2999\(84\)90086-4](https://doi.org/10.1016/0014-2999(84)90086-4)
- Erkan, N. (2012).** Antioxidant activity and phenolic compounds of fractions from *Portulaca oleracea* L. *Food Chem.*, 133, 775–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.091>
- Espín, J.C., González-Sarriás, A., Tomás-Barberán, F.A. (2017).** The gut microbiota: A key factor in the therapeutic effects of (poly) phenols. *Biochemical pharmacology*, 139, 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2017.04.033>
- Fahey, J.W., Zalcman, A.T., Talalay, P. (2001).** The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56(1), 5-51. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00316-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00316-2)
- Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusà, J., Peñuelas, J. (2017).** β -Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms. *Molecules*, 22(7), 1148. <https://doi.org/10.3390/molecules22071148>
- Fernández-Poyatos, M.D.P., Llorent-Martínez, E.J., Ruiz-Medina, A. (2021).** Phytochemical composition and antioxidant activity of *Portulaca oleracea*: Influence of the steaming cooking process. *Foods*, 10(1), 94. <https://doi.org/10.3390/foods10010094>
- FNB (2005).** Food and nutrition Board dietary reference intakes for water potassium, sodium, chloride and sulfate. The National academic press, 500 Fifth Street, NW, Washington, DC. USA, 77-185. https://www.nal.usda.gov/sites/default/files/fnic_uploads/water_full_report.pdf
- García, I.F. (2009).** Resistencia a la salinidad en el agua de riego de cuatro especies silvestres de interés hortícola en la región de Murcia. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/759>
- Guil, J.L., Rodríguez-García, I., Torija, E. (1997).** Nutritional and toxic factors in selected wild edible plants. *Plant Foods Hum Nutr* 51, 99–107. <https://doi.org/10.1023/A:1007988815888>
- Gerendás, J., Führes, H. (2013).** The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil*, 368(1), 101-128. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1555-2>
- Khachik, F., Beecher, G. R., Whittaker, N.F. (1986).** Separation, identification, and quantification of the major carotenoid and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by

- liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34(4), 603-616. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00070a006>
- Knudsen, J.T.; Eriksson, R.; Gershenzon, J.; Ståhl, B. (2006).** Diversity and Distribution of Floral Scent. *Bot. Rev.*, 72, 1–120. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2006\)72\[1:DADOFS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2006)72[1:DADOFS]2.0.CO;2)
- Kim, M.J., Moon, Y., Tou, J.C., Mou, B., Waterland, N.L. (2016).** Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49: 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Jimoh, F.O., Adedapo, A.A., Afolayan, A.J. (2011).** Comparison of the nutritive value, antioxidant and antibacterial activities of *Sonchus asper* and *Sonchus oleraceus*. *Rec Nat Prod*, 5(1), 29-42.
- Jørgensen, U., Hansen, M., Christensen, L.P., Jensen, K., Kaack, K. (2000).** Olfactory and quantitative analysis of aroma compounds in elder flower (*Sambucus nigra* L.) drink processed from five cultivars. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(6), 2376-2383. <https://doi.org/10.1021/jf000005f>
- Lefsrud, M., Kopsell, D., Wenzel, A., Sheehan, J. (2007).** Changes in kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala) carotenoid and chlorophyll pigment concentrations during leaf ontogeny. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 136-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.026>
- Li, Y., Cui, Y., Lu, F., Wang, X., Liao, X., Hu, X., Zhang, Y. (2019).** Beneficial effects of a chlorophyll-rich spinach extract supplementation on prevention of obesity and modulation of gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Functional Foods*, 60, 103436. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103436>
- Liao, Y., Zeng, L., Tan, H., Cheng, S., Dong, F., Yang, Z. (2020).** Biochemical pathway of benzyl nitrile derived from L-phenylalanine in tea (*Camellia sinensis*) and its formation in response to postharvest stresses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(5), 1397-1404. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06436>
- Liu, R.H. (2013).** Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science*, 78(s1), A18-A25. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12101>
- Lykkesfeldt, J., Moller, B.L. (1993).** Synthesis of benzylglucosinolate in *Tropaeolum majus* L. (isothiocyanates as potent enzyme inhibitors). *Plant Physiology*, 102(2), 609-613. <https://doi.org/10.1104/pp.102.2.609>
- Maffei, M.E., Gertsch, J., Appendino, G. (2011).** Plant volatiles: production, function and pharmacology. *Natural product reports*, 28(8), 1359-1380.
- Molina, M., Tardío, J., Aceituno-Mata, L., Morales, R., Reyes-García, V., Pardo-de-Santayana, M. (2014).** Weeds and Food Diversity: Natural Yield Assessment and Future Alternatives for Traditionally Consumed Wild Vegetables. *Journal of Ethnobiology*, 34(1), 44-67. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.1.44>
- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A.B., Periago, M.J. (2015).** Nutritional Composition and Antioxidant Capacity in Edible Flowers: Characterisation of Phenolic Compounds by HPLC-DAD-ESI/MSⁿ. *Int. J. Mol. Sci.*, 16(1), 805-822. <https://doi.org/10.3390/ijms16010805>
- Nkcukankcuka, M., Jimoh, M.O., Griesel, G., Laubscher, C.P. (2022).** Growth characteristics, chlorophyll content and nutrients uptake in *Tetragonia decumbens* Mill. cultivated under different fertigation regimes in hydroponics. *Crop and Pasture Science*, 73, 67–76. <https://doi.org/10.1071/CP20511>
- Oliveira, L.d.L.d., Carvalho, M.V.d., Melo, L. (2014).** Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. *Rev. Ceres* [online], 61, 764–779. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461000002>.

- Pandjaitan, N., Howard, L.R., Morelock, T., Gil, M.I. (2005).** Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8618-8623. <https://doi.org/10.1021/jf052077i>
- Paulauskienė, A., Tarasevičienė, Ž., Laukagalis, V. (2021).** Influence of harvesting time on the chemical composition of wild stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Plants*, 10(4), 686. <https://doi.org/10.3390/plants10040686>
- Pereira, A.G., Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Jimenez-Lopez, C., Lourenço-Lopes, C., Carpena, M., ... Simal-Gandara, J. (2020).** Culinary and nutritional value of edible wild plants from northern Spain rich in phenolic compounds with potential health benefits. *Food & Function*, 11(10), 8493-851. <https://doi.org/10.1039/D0FO02147D>
- Pinela, J., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C. (2017).** Wild edible plants: Nutritional and toxicological characteristics, retrieval strategies and importance for today's society. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 165-188. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.020>
- Quave, C. L., Pieroni, A. (2014).** Fermented foods for food security and food sovereignty in the Balkans: a case study of the Gorani people of Northeastern Albania. *Journal of Ethnobiology*, 34(1), 28-43. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.1.28>
- Quintaes, K.D., Diez-Garcia, R.W. (2015).** The importance of minerals in the human diet. *Handbook of mineral elements in food*, 1-21. <https://doi.org/10.1002/9781118654316.ch1>
- Raigón M.D. (2020).** Manual de la Nutrición Ecológica. *De la molecula al plato*. Ed. SEAE, p.728. Valencia, España: Publizona Impresión, S.L.
- Reyes, L.F., Villarreal, J.E., Cisneros-Zevallos, L. (2007).** The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chem.*, 101, 1254–1262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.032>
- Reglamento (CE) n° 1822/2005 de la Comisión del 8 de noviembre del 2005.** <https://www.boe.es/doue/2005/293/L00011-00013.pdf>
- Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018.** https://www.caecv.com/wp-content/uploads/2021/12/1.-848_2018_nuevo-reglamento-1.pdf
- Renna, M., Cocozza, C., Gonnella, M., Abdelrahman, H., Santamaria, P. (2015).** Elemental characterization of wild edible plants from countryside and urban areas. *Food Chemistry*, 117(15): 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.069>
- Roy, R., Hahm, E.R., White, A.G., Anderson, C.J., Singh, S.V. (2019).** AKT-dependent sugar addiction by benzyl isothiocyanate in breast cancer cells. *Molecular carcinogenesis*, 58(6), 996-1007. <https://doi.org/10.1002/mc.22988>
- Sakuraba, Y., Balazadeh, S., Tanaka, R., Mueller-Roeber, B., Tanaka, A. (2012).** Overproduction of Chl b retards senescence through transcriptional reprogramming in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 53(3), 505-517. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcs006>
- Saini, S., Saini, K. K. (2020).** *Chenopodium album* Linn: An outlook on weed cum nutritional vegetable along with medicinal properties. *Emergent Life Sci. Res*, 6: 28-33. <https://doi.org/10.31783/elsr.2020.612833>
- Sehrawat, A., Singh, S.V. (2016).** Short-form RON overexpression augments benzyl isothiocyanate-induced apoptosis in human breast cancer cells. *Molecular carcinogenesis*, 55(5), 473-485. <https://doi.org/10.1002/mc.22295>
- Siomos, A.S., Koukounaras, A. (2007).** Quality and postharvest physiology of rocket leaves. *Fresh Prod*, 1(1), 59-65. <http://ikee.lib.auth.gr/record/257767/files/quality.pdf>
- Silva, R., Carvalho, I.S. (2014).** *In vitro* antioxidant activity, phenolic compounds and protective effect against DNA damage provided by leaves, stems and flowers of *Portulaca oleracea* (Purslane). *Natural product communications*, 9(1), 1934578X1400900115.

<https://doi.org/10.1177/1934578X1400900115>

- Silvério, M.S., Del-Vechio-Vieira, G., Pinto, M.A., Alves, M.S., Sousa, O.V. (2013).** Chemical composition and biological activities of essential oils of *Eremanthus erythropappus* (DC) McLeisch (Asteraceae). *Molecules*, 18(8), 9785-9796. doi:10.3390/molecules18089785
- Sdougá, D., Branca, F., Kabtni, S., Di Bella, M.C., Trifi-Farah, N., Marghali, S. (2020).** Morphological Traits and Phenolic Compounds in Tunisian Wild Populations and Cultivated Varieties of *Portulaca oleracea* L. *Agronomy*, 10, 948. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070948>.
- Tardío, J., Sánchez-Mata, M.D.C., Morales, R., Molina, M., García-Herrera, P., Morales, P., et al. (2016).** Ethnobotanical and food composition monographs of selected Mediterranean wild edible plants. In *Mediterranean wild edible plants* (pp. 273-470). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_13
- Tava, A., Biazzi, E., Ronga, D., Avato, P. (2020).** Identification of the volatile components of *Galium verum* L. and *Cruciata leavipes* opiz from the western Italian Alps. *Molecules*, 25(10), 2333. <https://doi.org/10.3390/molecules25102333>
- TGSC Information System (2022).** <http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1053841.html>
- Portal Antioxidantes (2022).** <http://portalantioxidantes.com/base-de-datos-de-actividad-antioxidante-orac-y-de-contenido-de-polifenoles-totales-pft-en-hortalizas-2/> [acceso 15 de febrero, 2022]
- Uddin, M., Juraimi, A.S., Ali, M., Ismail, M.R. (2012).** Evaluation of antioxidant properties and mineral composition of purslane (*Portulaca oleracea* L.) at different growth stages. *International journal of molecular sciences*, 13(8), 10257-10267. <https://doi.org/10.3390/ijms130810257>
- Ullah, I., Gul, S., Rehman, H.U., Ahmad, N., Ullah, I., Aziz-ud-Din, S.M.J., Akbar, M.U. (2017).** Analysis of nutrients and minerals of some wild edible plants. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 4(6), 35-39.
- USDA. (2019).** <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169274/nutrients>
- Wali, J.A., Raubenheimer, D., Senior, A.M., Le Couteur, D.G., Simpson, S.J. (2021).** Cardio-metabolic consequences of dietary carbohydrates: reconciling contradictions using nutritional geometry. *Cardiovascular research*, 117(2), 386-401. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa136>
- Wang, K., Liu, F., Liu, Z., Huang, J., Xu, Z., Li, Y., et al. (2011).** Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7), 1406-1412. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02629.x>
- WHO: World Health Organization. (2004).** Vitamin and mineral requirements in human nutrition, 2nd ed.; Geneva, Switzerland. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42716>
- Yamada, N., Murata, W., Yamaguchi, Y., Fujita, K.I., Ogita, A., Tanaka, T. (2021).** Enhancing the fungicidal activity of amphotericin B via vacuole disruption by benzyl isothiocyanate, a cruciferous plant constituent. *Letters in Applied Microbiology*, 72(4), 390-398. <https://doi.org/10.1111/lam.13425>
- Yaqoob, M., Aggarwal, P., Kumar, M., Purandare, N. (2020).** Isothiocyanates; sources, physiological functions and food applications. *Plant Archives*, 20(2), 2758-2763.
- Youssef, K.M., Mokhtar, S.M. (2014).** Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. leaves. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 4(6), 1. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000322>
- Zhao, X., Ju, Y., Wei, X., Dong, S., Sun, X., Fang, Y. (2019).** Significance and transformation of 3-alkyl-2-methoxypyrazines through grapes to wine: Olfactory properties, metabolism,

biochemical regulation, and the HP–MP cycle. *Molecules*, 24(24), 4598.
<https://doi.org/10.3390/molecules24244598>

Zihad, S.N.K., Gupt, Y., Uddin, S.J., Islam, M.T., Alam, M.R., Aziz, S., et al. (2019). Nutritional value, micronutrient and antioxidant capacity of some green leafy vegetables commonly used by southern coastal people of Bangladesh. *Heliyon*, 5(11), e02768.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02768>

Zhou, Q., Jia, X., Yao, Y.Z., Wang, B., Wei, C.Q., Zhang, M., Huang, F. (2019). Characterization of the aroma-active compounds in commercial fragrant rapeseed oils via monolithic material sorptive extraction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(41), 11454-11463.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05691>

VI. CONCLUSIONES

Esta Tesis Doctoral ha investigado el potencial nutricional y aromático de siete plantas silvestres infravaloradas de la costa mediterránea valenciana inherentes a dos épocas del año. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. Las siete plantas silvestres, infravaloradas en el momento actual, pero con un importante historial de su uso alimentario y farmacológico, presentes en el litoral valenciano en dos períodos estacionales anuales, presentan un alto potencial para incluir como alternativa en sistemas de producción sostenibles, generando diversificación en la producción agrícola. Estas plantas contribuirían a una mayor soberanía alimentaria en el territorio, minimizando los recursos y contribuyendo a alcanzar los ODS de la Agenda 2030.
2. El conocimiento tradicional del consumo y usos gastronómicos, abundancia estacional y recolección, así como la conservación de las plantas silvestres se mantiene latente entre la población rural. La caracterización nutricional y aromática de estas especies infravaloradas comestibles podrá ser de gran ayuda para promover su puesta en valor, su producción y comercialización de futuro, reactivando la recolección silvestre o alternativas productivas que revitalicen el mundo rural.
3. Los avances en el conocimiento de la composición nutricional, de los compuestos con propiedades biológicas y de los perfiles aromáticos de estas plantas silvestres alimenticias podrán contribuir en el rescate de estos recursos vegetales, revalorizando y preservando el Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad que aporta la dieta mediterránea y al mismo tiempo contribuyendo en el mantenimiento de los recursos fitogenéticos que caracterizan la biodiversidad local.
4. En general, en las plantas infravaloradas estudiadas destacan los altos contenidos en fibra (>2,4%), los niveles de carbohidratos (>4,13%), el contenido en calcio (60,0-687,49 mg·100 g⁻¹ pf) y potasio (157,7-1250,5 mg·100 g⁻¹ pf) como macrominerales y de hierro (>1,2 mg·100 g⁻¹ pf) y cobre (>0,1 mg·100 g⁻¹ pf) como microminerales. Las especies silvestres inherentes al período primavera-verano mostraron superioridad nutricional frente a las plantas inherentes al período otoño-invierno, excepto las hojas de la especie *C. album* L. que destacó sobre todas por su valor

nutritivo. El consumo en fresco de estas especies infravaloradas supera significativamente los aportes de estos nutrientes frente al de las hortalizas de hoja consumidas tradicionalmente.

5. Todas las especies silvestres estudiadas, excepto las hojas y tallos tiernos de *P. ruderale* presentan bajos contenidos de grasa, pudiéndose considerar como “alimentos sin grasa” (menos de 0,5%), así como “alimentos de bajo valor energético” (menos de 40 kcal 100 g⁻¹ pf), siendo alimentos potenciales para incluir en dietas diversificadas y saludables.
6. La temporalidad ha sido fundamental en la síntesis de los metabolitos secundarios, como son los compuestos bioactivos y volátiles. Los antioxidantes totales predominaron en las especies silvestres de primavera-verano frente a las especies de otoño-invierno, excepto *D. eruroides* y *T. majus*. El contenido de antioxidantes en estas dos especies superó más de 2,5 veces el contenido presente en las otras especies contemporáneas. Por el contrario, el contenido de compuestos fenólicos totales resultó ser similar en las siete especies infravaloradas estudiadas.
7. En las plantas de la temporada primavera-verano el perfil polifenólico encontrado permitió establecer que los fenoles y flavonoides son los principales responsables de la capacidad antioxidante en la verdolaga (*P. oleracea*). Para la quirquiña (*P. ruderale*) que comparte la misma estacionalidad, resultó más complejo el contenido de antioxidantes totales. A pesar de un alto nivel del flavonoide quercetina encontrado en esta planta, el análisis correlacional no mostró una relación fuerte con los polifenoles totales, lo que indica que su capacidad antioxidante posiblemente se relaciona con otros componentes como pueden ser las antocianinas o antioxidantes lipófilos.
8. La diversidad química y la abundancia relativa de las familias de compuestos volátiles afectan a la percepción del aroma que determina la calidad organoléptica de cada una de las especies vegetales. La exclusividad de algunos compuestos aromáticos presentes en ciertas especies, confieren a estos compuestos un estatus de aromas diferenciadores. El contenido de isotiocianato de bencilo como aroma diferenciador clasifica a la capuchina (*T. majus*) con un sabor picante. A la quirquiña (*P. ruderale*) la presencia compleja de varios compuestos químicos aromáticos en pequeñas

cantidades proporciona aromas sutiles y florales. El wasabi mediterráneo (*D. eruroides*) que se caracterizó por la presencia mayoritaria de bencil nitrilo le otorga un sabor picante muy peculiar y tiene propiedades bioactivas beneficiosas. El perfil volátil de verdolaga (*P. oleracea*) se caracterizó por una alta concentración de pirazinas que aportan los agradables sabores a hierba en esta especie.

9. Las plantas silvestres infravaloradas consideradas en este estudio son alimentos interesantes desde el punto de vista nutricional. También son una buena fuente de compuestos bioactivos y aromáticos con propiedades beneficiosas para la salud que al consumirse en crudo no experimentan pérdidas cualitativas.
10. El presente trabajo aporta una información completa sobre el valor nutritivo y funcional de siete especies infravaloradas que viene a completar la escasa información existente y aumenta el conocimiento sobre estas plantas comestibles. Los resultados de la investigación realizada resaltan la importancia de conservar estos recursos genéticos con el fin de revalorizar y preservar sus usos alimentarios como una parte de las tradiciones gastronómicas, como posibles fuentes de nuevos cultivos, así como nuevas fuentes de nutrientes y alimentos de interés en las dietas saludables, como alternativas a las hortalizas de hoja convencionales. Las siete especies estudiadas destacan en sus características nutricionales, y por el contenido de compuestos bioquímicos y por la riqueza de sus perfiles volátiles.



Edita:

Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecología (SEAE)
Camí del Port s/n. Km 1 Edif. ECA Apdo 397
46470 Catarroja (Valencia)
Tel/ Fax. 96 126 71 22
Página web: www.agroecologia.net.

E-mail: comunicacion@agroecologia.net

ISBN: 978-84-949844-3-3

XXIX Jornadas Técnicas de SEAE

EVALUACIÓN DE COMPUESTOS NUTRICIONALES Y BIOACTIVOS DE PLANTAS ALIMENTICIAS INFRAVALORADAS INHERENTES A DOS ÉPOCAS DEL AÑO

Fukalova Fukalova, T¹, García Martínez MD², Raigón MD²

¹UCE Laboratorio de Fitoquímica y Productos Biológicos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, av. Universitaria, 170521 Quito, Ecuador

²Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia, España

e-mail: tfukalova@hotmail.com; magarma8@qim.upv.es; mdraigon@qim.upv.es;

Resumen

Los cambios climáticos, el agotamiento de la capa fértil del suelo, los desequilibrios de ecosistemas, junto con la situación de la pandemia global de Covid 19, hace que la salud humana se muestra frágil ante los riesgos asociados con el ambiente, biodiversidad y alimentación. El objetivo del presente estudio fue determinar la composición nutricional y evaluar los componentes bioactivos en dos plantas alimenticias infravaloradas características a períodos: la quirquiña (*Porophyllum ruderale*) perteneciente al ciclo de primavera verano y capuchina (*Tropaeolum majus* L) presente en el ciclo de cultivo de otoño-invierno, en condiciones mediterráneas.

P. ruderale fue recolectada entre junio-julio y *T. majus* entre octubre-noviembre de 2020. La cuantificación de nutrientes y compuestos bioactivos se realizó con hojas y tallos pequeños de planta fresca. La composición proximal y mineral se determinó con los métodos oficiales AOAC correspondientes. El análisis de antioxidantes se realizó con la técnica de DPPH y de polifenoles con el método adaptado de Folin-Ciocalteu.

Los componentes nutricionales más representativos fueron carbohidratos en *P. ruderale* y fibra total en *T. majus*. El elemento mineral con mayor abundancia fue el calcio para ambas especies y como oligoelementos han destacado el hierro en *P. ruderale* y el zinc en *T. majus* L. Ambas especies destacaron por un alto contenido de antioxidantes. Las plantas comestibles infravaloradas estudiadas son un recurso alternativo en dietas nutritivas y saludables.

Palabras claves: Antioxidantes, Diversidad, Hojas comestibles, Polifenoles.

Introducción

La situación de Covid-19 como una crisis coyuntural, ha dejado a descubierto dos asuntos básicos, la educación y los sistemas de salud. La pandemia junto con los cambios climáticos, el agotamiento de la capa fértil del suelo, los desequilibrios del ecosistema entre otras cuestiones han mostrado la fragilidad de la salud humana ante los riesgos asociados con el ambiente, la biodiversidad y la alimentación.

Las especies comestibles de hoja verde son uno de los alimentos que tienen beneficios para mejorar la salud ya que aportan nutrientes y compuestos bioactivos (Murthy & Paek, 2020; Edington, 2017). Los compuestos bioactivos presentes en las hojas presentan propiedades antioxidantes que ejercen efectos en la reducción de enfermedades crónicas, cardiovasculares y cáncer entre otros (Jaganath & Crozier, 2017). Una dieta nutritiva que puede prevenir las enfermedades antes mencionadas debe incluir una ingesta diaria mínima de 400-500 g por día de frutas y verduras, alimentos ricos en sustancias antioxidantes (World Health Organization, 2004; van Breda & de Kok, 2018). Entre los compuestos bioactivos con la capacidad antioxidante, destacan los polifenoles, un grupo de compuestos que se encuentran en las plantas. Los estudios de Lako et al. (2007) han demostrado que las verduras de hoja verde tienen mayor capacidad antioxidante y en combinación con los compuestos nutricionales, actúan sinérgicamente mejorando los efectos para prevención de las enfermedades.

El desuso de especies alimentarias, empleadas históricamente por el consumo de sus hojas o brotes verdes, tiene connotación de pobreza alimentaria y en concreto, las plantas silvestres siempre han sido un recurso importante, que ayudaban a complementar las elaboraciones, mitigar las carencias de las dietas básicas, mejorando la calidad de alimentación, contribuyendo a la biodiversidad y caracterización del patrimonio cultural y fitogénico de las áreas locales.

La recolección y consumo de algunos recursos vegetales silvestres forma parte de la dieta mediterránea. Las hortalizas silvestres se han consumido tradicionalmente en la Península Ibérica y han desempeñado un papel nutricional, especialmente en épocas de escasez (Morales et al., 2013). No obstante, en la actualidad la fusión del conocimiento tradicional con la alta cocina ha promovido la utilidad de las plantas y flores silvestres comestibles (García-Herrera et al., 2020). En este sentido se observa un interés creciente por las plantas silvestres, por su innovación alimentaria y los efectos beneficios para la salud.

Considerando que cada ciclo del año goza de las plantas específicas que crecen de

forma natural en las condiciones climáticas propias a la época, se seleccionaron dos especies alimenticias infravaloradas inherentes a dos ambientes primavera-verano (*Porophyllum ruderale*) y otoño-invierno (*Tropaeolum majus* L.), ambas presentes en suelos de la provincia de Valencia (España). Los principales objetivos de esta investigación han sido (a) caracterizar los rasgos nutricionales, (b) evaluar los componentes bioactivos de las hojas jóvenes comestibles de las plantas silvestres seleccionadas.

Material/Métodos

Material vegetal y preparación de muestras

El crecimiento vegetativo de la planta comúnmente conocida como quirquiña (*Porophyllum ruderale*), en condiciones de clima mediterráneo se produce durante la temporada de primavera. La planta conocida como capuchina (*Tropaeolum majus* L.) muestra su crecimiento vegetativo, en condiciones mediterráneas, durante el otoño. Ambas especies fueron recolectadas en suelos de L'Horta Nord de Alboraya (Valencia). La quirquiña es una planta herbácea de tallos y hojas lisas, que puede alcanzar una altura de 40 a 150 cm (figura 1). Sus hojas son comestibles y utilizadas para sazonar y resaltar ensaladas y salsas picantes. Su sabor se describe como mezcla entre rúcula, cilantro y ruda. Se trata de una planta de origen americano, presente en los climas cálidos, semiáridos, con distribución desde el suroeste de Estados Unidos hasta el gran parte de Sudamérica, donde crece de forma espontánea, en ocasiones asociada a zonas boscosas, pero también se encuentra en áreas periurbadas, en matorrales, en ocasiones como mala hierba, y en muchos casos, cultivada en huertos familiares. La presencia en la zona de Valencia se debe a los intercambios interculturales de las poblaciones originarias de Sudamérica, que mantienen los hábitos culinarios y gastronómicos.



Clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Clase: Magnoliophyta

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Genero: *Porophyllum*

Especie: *Porophyllum ruderale*

Figura 1. Hojas de plantas de quirquiña y clasificación.

La capuchina (*Tropaeolum majus* L.) es una planta herbácea anual con tallos ascendentes, que puede alcanzar una altura de un metro o más. Las hojas son grandes casi circulares de 3-15 cm

de diámetro, por encima verdes y glauques, y pálidas por el reverso. Las flores son muy vistosas, con pétalos cuyo color varía del naranja al rojo (figura 2). La capuchina, también llamada mastuerzo de Indias, entre otras denominaciones es originaria de Sudamérica, pero se encuentra aclimatada prácticamente a cualquier condición edafoclimática. Principalmente se encuentra como planta ornamental en zonas ajardinadas. Tanto sus hojas como sus flores son comestibles.

Las hojas de quirquiña fueron recolectadas, en los meses de junio-julio de 2020, y las de capuchina durante los meses de septiembre de 2020. La recolección de las hojas se realizó de forma aleatoria, tomando aproximadamente, 1.0 kg de cada especie.

En el laboratorio, previo a las determinaciones, las muestras se limpiaron cuidadosamente, quitando las partes dañadas. Para los análisis se separaron las hojas y tallos tiernos.



Clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Clase: Magnoliopsida

Orden: Brassicales

Familia: Tropaeolaceae

Genero: Tropaeolum

Especie: *Tropaeolum majus* L.

Figura 1. Hojas de plantas de capuchina y clasificación.

Los contenidos de antioxidantes, polifenoles totales y clorofilas, así como acidez total, pH y nitratos, se midieron en muestras frescas (inmediatamente después de la recolección y preparación), mientras que los análisis de nutrientes y minerales se realizaron en muestras secadas en estufa a 70 °C (J.P.Selecta) hasta obtener un peso constante. Se preparó una muestra global de cada especie sometiendo a una molienda (Retsch KG-5657 Haan Remscheid Germany).

Tanto con fracción fresca como con fracción molida se utilizaron tres repeticiones.

Reactivos.

Las disoluciones de metanol el 80% (v/v) y de acetona de 80% (v/v) fueron preparados a partir de los reactivos de pureza grado analítico. Carbonato de sodio; ácido cítrico, ácido bórico, ácido sulfúrico, ácido hidroclorehídrico y ácido fosfórico; cloruro de lantano (III) e hidróxido sódico, eran de Schrlau. Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8, -tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid); 2,2'-

azobis-2-methyl-propanimidaminda; 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH); reactivo de Folin-Ciocalteu y el ácido gálico fueron adquiridos de Sigma-Aldrich Co.

Análisis proximal y determinación de los minerales.

Se llevó a cabo aplicando los métodos oficiales: humedad (AOAC 984.25), proteínas (AOAC 984.13), grasa (AOAC 983.23), fibra (AOAC 991.43) y cenizas (AOAC 923.03). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia.

La digestión de las muestras para la determinación de contenido de los minerales se realizó de acuerdo con el método AOAC 985.35. El análisis de los minerales fue realizado por espectroscopia de absorción atómica (EAA) en Espectrofotómetro ThermoElemental AAseries a excepción del fósforo que se analizó colorimétricamente (AOAC, 2005).

Evaluación de componentes bioactivos.

Todos los métodos analíticos aplicados fueron optimizados y validados para los análisis específicos de este tipo de muestras vegetales.

Los antioxidantes totales se midieron como radical DPPH reducido en disolución (0.025 g/L en metanol). La reacción se realizó en el extracto obtenido al mezclar 0.8 g de la muestra con 5 mL de metanol (80% v/v) durante 1 hora a la temperatura ambiente en agitador orbital SO1 (StuartScientific). Transcurrido el tiempo se añadió el reactivo y luego de la reacción de neutralización, se midió la absorbancia a 515 nm, luego de 45 minutos de incubación con DPPH en oscuridad (Schott UVline9400). La curva de calibración se obtuvo con Trolox como estándar. Los resultados fueron expresados como miligramos de equivalentes de Trolox por cien gramos de materia fresca ($\mu\text{mol TE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$)

Polifenoles totales se estimaron mezclando una alícuota de extracto acuoso (0.5 mL) con el reactivo Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio. La absorbancia se midió a 750 nm transcurrido 1 hora de incubación (JENWAY 6715/UV-Vis). Se utilizó ácido gálico para calcular la curva de calibración. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por cien gramos de materia fresca ($\text{mg GAE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$).

El contenido de clorofilas se determinó mediante el método de Hansmann (1973) adaptado. Se obtuvo el extracto con disolución de acetona (80% v/v). Una vez filtrada, se midió la absorbancia a 645 nm, 653 nm y 663 nm (Schott UVline 9400). Los resultados se expresaron como μg de clorofila correspondiente por gramo de materia fresca ($\mu\text{g g}^{-1} \text{ pf}$).

Otros.

Acidez total se determinó potenciométricamente con una disolución 0.05 N de hidróxido de sodio. El pH y contenido de nitratos se midieron directamente con el equipo pH&ION-Meter GLP 22+ (CRISON).

Análisis estadístico

Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron como medias \pm SD. Se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados entre ambas especies, utilizando el software Statgraphics Plus 5.1 para analizar los datos con un nivel de confianza del 95%.

Resultados y Discusión

Análisis proximal y contenido de minerales

En el cuadro 1 se presentan los contenidos porcentuales de la humedad, cenizas, proteína cruda, grasa, carbohidratos y valor calórico de las hojas y tallos tiernos de las especies silvestres.

Cuadro 1. Valores promedios de componentes nutricionales para las hojas frescas de cada especie.

(g)	Nutrientes	<i>P. ruderale</i>			<i>T. majus L.</i>		
		Medias \pm DE	CV(%)	LI-LS	Medias \pm DE	CV(%)	LI-LS
Valor nutricional 100 g ⁻¹ pf)	Humedad	84.70 \pm 0.43*	0.51	84.14-85.26	89.59 \pm .25*	0.27	89.03-90.15
	Cenizas	0.44 \pm 0.00*	0.28	0.41-0.47	1.87 \pm 0.04 *	1.88	1.84-1.90
	Proteína	1.89 \pm 0.00	0.05	1.80-1.98	1.82 \pm 0.10	5.47	1.731.91
	Grasa	0.66 \pm 0.00	0.15	0.57-0.74	0.45 \pm 0.11	23.35	0.37-0.54
	Fibra	5.50 \pm 1.88	34.18	4.31-6.69	5.08 \pm 0.62	12.13	3.90-6.27
	Hidratos de carbono	6.80 \pm 3.49*	51.32	5.28-8.32	1.18 \pm 0.34 *	28.88	-0.34-2.71
	Energía (kcal 100 g ⁻¹)	40.70 \pm 1.16	2.85		16.10 \pm 3.35	20.84	

En cada columna * indica diferencias significativas (p<0.05); LI: límite inferior y LS: límite superior, basados en LSD de Fisher; pf=peso fresco

Se observa que los constituyentes químicos analizados presentaron una diferencia significativa (p<0.05) en los parámetros de humedad, cenizas e hidratos de carbono.

El porcentaje de humedad de las partes comestibles fue 84.70% y 89.59% para *P. ruderale* y *T. majus L.* respectivamente. Esto confirma el alto contenido de agua característico de las hojas vegetales, atributo que forma parte de aspectos como la generación de saciedad o la hidratación, durante la ingesta, comprometiendo aspectos de salud, como la deshidratación crónica que a menudo es consecuencia de muchas enfermedades relacionadas con una dieta deficiente. Además, la oxigenación y la nutrición del organismo dependen de la presencia del agua (Johns, 2014).

Estadísticamente el contenido de cenizas mostró una diferencia significativa que va desde 0.44% para *P. ruderale* y 1.87% para *T. majus*, en base húmeda. Las cenizas es la parte inorgánica restante de una planta después de la combustión. En este contexto la especie *T. majus* presentó la mayor cantidad de minerales totales.

Los niveles de proteína cruda no presentaron una variación significativa. *P. ruderale* mostró el contenido de 1.89% y *T. majus L.* de 1.82%. Con base en estos resultados, se puede afirmar que

ambas especies presentaron bajos niveles de proteína, en línea con los bajos valores en proteína que presentan las hortalizas de hoja. Aunque en comparación con las lechugas, como referencia de hortaliza de hoja, estas especies muestran en promedio un 39% más de proteína.

El contenido de grasa en las hojas varió entre 0.45 y 0.66%, siendo la especie *P. ruderale* la del mayor contenido. En general, la mayoría de las hortalizas y frutas comprenden un valor de lípidos menores de 1%. Los resultados obtenidos son similares a los que se encuentran en las lechugas, demostrando que las plantas de este estudio son una fuente pobre de grasas, formando parte de un grupo de alimentos que pueden formar parte de las dietas que contribuyan a la prevención y control de hiperlipidemias y obesidad (Alcalá-Bejarano Carrillo et al., 2015).

La fibra cruda se registró con 5.50% para *P. ruderale* y 5.08 % para *T. majus* L., valores altos en comparación con hojas comestibles como la espinaca (2%) o la lechuga (1.5%). Estos resultados indican que las hojas de ambas plantas podrían ser un buen componente complementario para cubrir la cantidad diaria recomendada de fibra que es de 20-35 g/día, y se recomienda ingerir las fuentes de alimentos naturales en lugar de forma de capsulas. Además, se cree que suficiente ingesta de fibra dietética evita la formación de condición desagradable conocida como diverticulitis (Edington, 2017).

El valor calórico calculado sobre base fresca de las hojas, pone de manifiesto que en ambos casos se trata de alimentos de bajo valor calórico, en especial para *T. majus* L. cualidad promisoria en las dietas restrictivas (Edo Albacar, 2000).

Los valores de macro (Ca, Mg, K, P, Na) y micro (Fe, Cu, Zn) minerales obtenidos en el estudio se representan en la Figura 3.

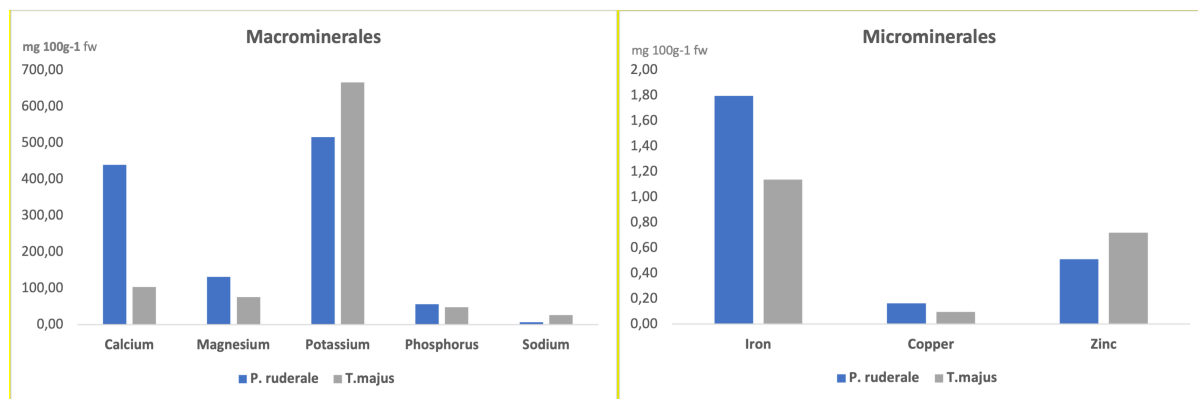


Figura 3. Contenido de minerales en las partes comestibles de cada especie

La cantidad de cenizas se relaciona con la cantidad total de minerales presentes. Sin embargo, *T. majus* con mayor contenido de cenizas tiene menor cantidad de Ca (119.6 mg 100 g⁻¹ pf), Mg (67.4 mg 100 g⁻¹ pf) y P (49.3 mg 100 g⁻¹ pf), mientras que *P. ruderale* con mayor contenido de estos macrominerales (439.29 mg 100 g⁻¹ pf en Ca; 131.15 mg 100 g⁻¹ pf en Mg y 56.48 mg

100 g⁻¹ pf en P), lo que indica que la distribución de otros minerales minoritarios es más importante para esta especie. El potasio fue el macromineral de más alto valor en *T. majus* (574.7 mg 100 g⁻¹ pf) y en *P. ruderale* (515.28 mg 100 g⁻¹ pf). Las diferencias significativas (p<0.05) se encontraron para el contenido de sodio cuyos valores corresponden a 16.1 mg 100 g⁻¹ pf (*T. majus*) y 7.19 mg 100 g⁻¹ pf (*P. ruderale*).

Entre los microminerales el contenido más alto fue para el hierro con 1.8 mg 100 g⁻¹ pf (*P. ruderale*), seguido de zinc con 0.7 mg 100 g⁻¹ pf (*T. majus*), mientras que el cobre presentó el menor valor en *T. majus* (0.1 mg 100 g⁻¹ pf).

Navarro-González et al. (2015) en su estudio sobre la composición mineral de las flores de *T. majus* como fuente alimentaria encontraron que los minerales más abundantes fueron zinc (0.66 mg/100 g), hierro (0.551 mg/100 g), cobre (0.472 mg/100 g), manganeso, estroncio y potasio (0.225 mg/100 g). Desde el punto de vista nutricional, las flores mostraron mayor concentración de potasio que de sodio, la misma tendencia que se observa en las hojas comestibles de la misma especie. No obstante, la concentración de calcio (0.055 mg/100 g) fue muy baja en las flores en comparación con el valor encontrado en este estudio para las hojas.

Fe, Cu y Zn junto con Mn se consideran los iones bivalentes más importantes que están involucrados en la salud y desarrollo de los seres humanos. Participan como co-factores para muchas enzimas que metabolizan macronutrientes, en el desarrollo de huesos y cartílagos (Ceccanti et al., 2020). Nuestros resultados se encuentran dentro de los rangos indicados por (Martínez-Ballesta et al., 2010) en base de estudios de distintos vegetales, siendo para el hierro (0.13-13.01 mg/100 g), para cobre (0.004-0.24 mg/100 g) y para zinc (0.05-11.8 mg/100 g). Respecto a la concentración en cobre, al tratarse del aporte dietético más bajo recomendado, entre los tres microelementos (García Gabarra, 2006), estas especies pueden considerarse adecuadamente complementarias para alcanzar los niveles recomendados.

El cuadro 2 muestra la concentración de compuestos bioactivos: antioxidantes totales (AOT), polifenoles totales (PFT) y clorofilas (a, b y total). También se exponen los valores de otros compuestos como nitratos y acidez total junto con el parámetro del pH. La concentración de AOT en general es alta, mostrándose ligeramente mayor en *T. majus* con 4874.6 vs 4874 μmol TE·100g⁻¹ pf (*P. ruderale*), no obstante, estadísticamente no hay diferencias significativas entre ambas especies. La cantidad de PFT mostró la tendencia inversa: se encontró ligeramente mayor cantidad en *P. ruderale* (391.19 mg GAE·100 g⁻¹ pf) en comparación con *T. majus*. (378.10 mg GAE·100 g⁻¹ pf), valores que no representan una diferencia significativa.

Cuadro 2. Valores promedios de componentes bioactivos y otros componentes de las hojas comestibles de cada especie.

ANEXO 1. TRABAJOS DERIVADOS

		<i>P. ruderale</i>			<i>T. majus</i> L.		
		Medias± DE	CV(%)	LI-LS	Medias± DE	CV(%)	LI-LS
Bioactivos compounds	AOT (μmol TE·100g ⁻¹ pf)	4645.53±36.15	0.78	3584.76-5706.3	4874.6±132.3	27.1	3813.78-5935.32
	TPP mg GAE·100g ⁻¹ pf)	391.19±141.50	36.17	243.55-538.82	378.1±117.9	31.2	230.44-525.71
	Chl a (μg·g ⁻¹ pf)	10.45±0.521*	4.99	9.92-10.98	0.93±0.39 *	43.0	0.40-1.45
	Chl b (μg·g ⁻¹ pf)	3.55±0.284*	8.00	3.23-3.88	0.81±0.29 *	35.8	0.48-1.13
	Chl total (μg·g ⁻¹ pf)	14.00± 0.77*	5.56	13.17-14.83	1.74±0.69 *	39.7	0.90-2.57
Otros	Nitrates (mg NO ₃ ⁻ ·kg ⁻¹ pf)	777.33± 91.10*	52.59	704.17-850.5	56.33±5.21 *	9.2	-16.84-129.49
	pH	5.93±0.05	0.03	5.77-6.10	6.00±0.19	3.3	5.84-6.17
	Acidez total (% ácido cítrico)	0.10±0.01	0.02	0.06-0.14	0.17±0.02	10.6	0.12-0.21

En cada columna * indica diferencias significativas (p<0.05); LI: límite inferior y LS: límite superior, basados en LSD de Fisher; pf =peso fresco

El estudio similar sobre los antioxidantes totales en flores de *T. majus* realizados por (Garzóna & Wrolstadb, 2006) reportaron que la actividad de eliminación de radicales DPPH fue de 91.9 μmol TE/g pf que es aproximadamente dos veces mayor que encontrada en las hojas de la misma especie en este estudio. No obstante, las cantidades de antioxidantes encontrados para ambas especies es indicativa, aunque no se relaciona por completo con la presencia de polifenoles totales; puede atribuirse a otros fitoquímicos como las antocianinas, vitaminas, carotenoides, etc. La actividad captadora de radicales de los extractos, determinada por el método de DPPH, dependía de la cantidad total de fenoles que incluyen junto con los antioxidantes otros componentes que no se asociaron con la capacidad antioxidante (taninos hidrolizables y elagitaninos) (Navarro-González et al., 2015).

Estos resultados superan el rango reportado en la literatura científica para los TPP en la familia Asteraceae con el rango 191.0-195.0 mg GAE·100 g⁻¹ pf en la especie *T. obovatum* (Tardío et al., 2016). La concentración de PFT en las flores de *T. majus* reportado por (Navarro-González et al., 2015) correspondió a 12.95 mg GAE/g y por (Garzóna & Wrolstadb, 2006) fue 406.0 mg GAE/g ambos en base fresca, resultando una concentración muy superior que se ha obtenido en nuestro estudio en las hojas tiernas de la misma especie. En el estudio realizado por (De Bona et al., 2017) de las raíces, flores y hojas de la especie nativa brasilera *T. pentaphyllum* Lam. Que pertenece al mismo género que *T. majus*, se reportaron los resultados de TPP para hojas de 6.83 y de 21.30 mg GAE/g en base seca, para flores. Estos resultados muestran que la cantidad de polifenoles totales en las flores es muy superior a la de las hojas confirmando la comparación del estudio anterior. Mientras que el valor de polifenoles totales reportado en el estudio de De Bona et al. (2017) para las hojas comestibles de la especie *T. majus* es inferior al resultado encontrado en nuestro estudio.

Los polifenoles son compuestos considerados como un grupo mayoritario de fitoquímicos que contribuye a la actividad antioxidante en la mayoría de las plantas. A estas sustancias fenólicas

también se les contribuyen los efectos antiplaquetarios, antitumoral, protección contra patógenos (Jingyun Zheng, 2018). Estos hechos sugieren que las hojas comestibles de ambas plantas podrían ser una buena fuente de antioxidantes en la dieta.

Los pigmentos verdes presentes en las hojas fueron determinados como clorofila a (chl a), clorofila b (chl b) y clorofila total (chl total). La especie *P. ruderale* se caracterizó por el mayor contenido de las tres clorofilas con $10.45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (chl a), $3.55 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (chl b) y $14.00 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (chl total), todas expresadas en peso fresco de planta. Las clorofilas junto con los carotenoides participan activamente en el metabolismo de la energía solar, así como en la formación de carbohidratos. Los productos que contienen clorofilas pueden utilizar como constituyentes saludables en las dietas (Ozola, Augspole, & Duma, 2019). Estudios científicos atribuyen efectos anticancerígenos y antimutagénicos a las clorofilas (Mishra, Bacheti, & Husen, 2012; Panintingjati Brotosudarmo, 2018). Por sus propiedades antioxidantes las clorofilas podrían prevenir el estrés oxidativo que es una de las causas de enfermedades no transmisibles. Además, las clorofilas se consideran como un indicador de la calidad de las plantas.

El pH fue el parámetro de menor variación en ambas especies, siendo su valor alrededor de 6.0; la acidez titulable estuvo en el rango de 0.1 a 0.17 % como ácido cítrico y no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las especies ($p < 0.05$). Determinar la acidez total como porcentaje de ácido cítrico se debe a que este ácido es predominante, contribuyendo en un 75% de ácidos orgánicos totales al igual que el ácido oxálico, en la mayoría de las hojas verdes. En nuestro estudio la acidez total encontrada en ambas plantas tiene valor muy bajo lo que les sitúa como preferentes en las dietas donde no se presentará la interferencia en la absorción del calcio. Estos parámetros se relacionan con el estado metabólico de las plantas y, a pesar de la cosecha en diferentes épocas del año, el hecho de proceder de las mismas condiciones geoclimáticas indican similitud en metabolismo de las especies.

La determinación de la cantidad de nitratos también es importante ya que se considera un compuesto tóxico con niveles altos. El mayor contenido de nitratos se encontró en las hojas de *P. ruderale* con $777.33 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ pf, por el contrario, la especie *T. majus* mostró $56.33 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1}$ pf. Los nitratos tienen la capacidad de convertirse en nitritos en algunas condiciones específicas y posteriormente formar nitrosaminas que representan un peligro para la salud. Por estas razones, la Comisión Europea estableció un máximo de niveles de nitrato para la comercialización de algunas verduras frescas como espinaca, rúcula y lechuga en el rango entre 3500 y 7000 mg kg^{-1} pf en función de época del año en la que se realiza la recolección (Reglamento (UE), 2011)

Conclusiones/Recomendaciones

Se evaluaron los compuestos nutricionales y bioactivos de las plantas alimenticias infravaloradas, obtenidas en condiciones mediterráneas, inherentes a dos épocas del año: *P. ruderale* (primavera-verano) y *T. majus* L. (otoño-invierno) procedentes de la misma zona geoclimática. Las hojas comestibles analizadas de ambas especies presentaron en su composición proximal contenidos de humedad y fibra cruda relevantes. *P. ruderale* adicionalmente presentó notable contenido de carbohidratos. Al mismo tiempo, presentaron bajo contenido de grasa y bajo valor calórico, característica adecuada para la integración de dietas saludables. Además, un contenido relevante de minerales como potasio, calcio, cobre y zinc indican sus considerables contribuciones a la nutrición. Los resultados de este estudio muestran que las especies *P. ruderale* y *T. majus* L. son materias primas prometedoras como ingredientes para la alimentación humana y pueden ser fuentes importantes de componentes tanto nutricionales como bioactivos. Ambas contribuirán significativamente a mejorar la calidad nutritiva de los alimentos con los que pueden combinarse ampliamente, así como si se consumen en forma fresca. Por todo lo anterior, las hojas comestibles de las plantas son uno de los componentes alimenticios altamente funcional.

Bibliografía

- Alcalá-Bejarano Carrillo, J., Yago Torregrosa, M. D., Mañas Almendros, M., López Millán, M. B., María Alba Martínez Burgos, M. A., & Martínez de Victoria Muñoz, E. (2015). Macronutrientes, ingesta de alimentos y peso corporal; papel de la grasa. *Nutricion Hospitalaria*, 31 (1): 46-54.
- Ceccanti, C., Brizzi, A., Landi, M., Incrocci, L., Pardossi, A., & Guidi, L. (2020). Evaluation of Major Minerals and Trace Elements in Wild and Domesticated Edible Herbs Traditionally Used in the Mediterranean Area. *Biological Trace Element Research*.
- De Bona, G., Boschetti, W., Bortolin, R., Vale, M., Moreira, J., de Rios, A., & Flores, S. (2017). Characterization of dietary constituents and antioxidant capacity of *Tropaeolum pentaphyllum* Lam. *J. Food Sci Technol*, 54 (11): 3587-3597.
- Edington, J. (2017). Food Supplies and Nutrition. In J. Edington, *Indigenous Environmental Knowledge* (p. 47-66). Wales: Springer International Publishing AG.
- Edo Albarca, C. (2000). Tipos de dietas restrictivas para el tratamiento de la obesidad. *Medicina naturista*, 2: 96-102.
- García Gabarra, A. (2006). Ingesta de Nutrientes: Conceptos y Recomendaciones Internacionales (2ª Parte). *Nutr Hosp.*, 21: 4: 437-47.
- García-Herrera, P., Morales, P., Camara, M., Fernández-Ruiz, V., Tardío, J., & Cortez Sánchez-Mata, M. (2020). Nutritional and Phytochemical Composition of Mediterranean Wild Vegetables after Culinary Treatment. *Foods*, 1-17.
- Garzóna, G., & Wrolstad, R. (2006). Major anthocyanins and antioxidant activity of *Nasturtium* flowers (*Tropaeolum majus*). *Food Chemistry*, 114 (1): 44-49.

- Hansmann, E. (1973). Pigment analysis. In: Stein JR (ed) Handbook of phytochemical methods: culture methods and growth measurements. Cambridge University Press, Cambridge, pp 359-368.
- Jaganath, I., & Crozier, A. (2017). Overview of health promoting compounds in fruits and vegetable. In C. Alan, *Improving the Health-Promoting Compounds of Fruits and Vegetables* (p. 3-37). Cambridge: Tomás Barberán, F. and Gil, M.I.
- Jingyun Zheng, X. Y. (2018). Total phenolics and antioxidants profiles of commonly consumed edible flowers in China. *International Journal of Food Properties*, 21 (1): 1524-1540.
- Johns, B. (2014). Aguas curativas: los poderosos beneficios para la salud del agua ionizada. Madrid, Madrid, España.
- Lako, J., Trenerry, V., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical Flavonols, Carotenoids and the Antioxidant Properties of a Wide Selection of Fijian Fruit, Vegetables and Other Readily Available Foods. *Food Chem*, 101 (4): 1727-1741.
- Martínez-Ballesta, M., Dominguez-Perles, R., Moreno, D., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E., Carvajal, M. (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 30 (2): 295-309.
- Mishra, V. K., Bacheti, R., & Husen, A. (2012). Medicinal Uses of Chlorophyll: a critical overview. *Nova Science Publisher*, 177-196.
- Morales, P., Ferreira, I., Carvalho, A., Cortez Sanchez-Mata, M., Cámara, M., Fernandez-Ruiz, V., Tardío, J. (2013). Mediterranean non-cultivated vegetables as dietary sources of compounds with antioxidant and biological activity. *LWT - Food Science and Technology*, 55 (1): 389-396.
- Murthy, N., & Paek, K. (2020). Health Benefits of Underutilized Vegetables and Legumes. *Series in Phitochemistry*, 1-30.
- Navarro-González, I., González-Barrío, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A., & Periago, M. (2015). Nutritional Composition and Antioxidant Capacity in Edible Flowers: Characterisation of Phenolic Compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 (1): 802-822.
- Ozola, B., Augspole, I., & Duma, M. (2019). Pigments content in different processed edible wild plants. *Food, Nutr., Well-Being, Jelgava, Latvia*, 204-209.
- Panintingjati Brotosudarmo, T. (2018). Chloroplast Pigments: Structure, Function, Assembly and Characterization. In T. Panintingjati Brotosudarmo, L. L., R. Dwi Chandra, & Heriyano, *Plant Grow and Regulation-Alterations to Sustain Unfavorable Conditions*. IntechOpen.
- Pua, A. L. R. (2016). Composición nutricional de las hojas del silbadero (*Geoffroea spinosa* Jacq) del municipio de Tubará (Atlántico). @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 14 (1): 38-48.
- Reglamento (UE) n° 1258/2011 (2011) de la Comisión, de 2 de diciembre de 2011, que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1258>
- Sánchez-Mata, M., Cabrera Loera, R., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Cámara, M., Díez Marqués, C., Tardío, J. (2012). Wild vegetable of the Mediterranean area as valuable sources of bioactive compounds. *Genet Resour Crop Evol*, 59 (3): 431-443.
- Tardío, J., de Cortes Sánchez-Mata, M., Morales, R., Molina, M., García-Herrera, P., Morales, P., ... & Boussalah, N. (2016). Ethnobotanical and food composition monographs of selected Mediterranean wild edible plants. In *Mediterranean Wild Edible Plants* (pp. 273-470). Springer, New York, NY.

van Breda, S. G. & de Kok, T. M. (2018). Smart combinations of bioactive compounds in fruits and vegetables may guide new strategies for personalized prevention of chronic diseases. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(1), 1700597.

World Health Organization. (2004). *Fruit and Vegetables for Health*. Geneva: WHO.



Soberanía Alimentaria

Emergencia Climática

XIV Congreso de SEAE
Palma (Mallorca) / 23-27 de abril 2022

PROGRAMA PROVISIONAL

INSCRIPCIONES- PRESENTA TU COMUNICACIÓN- MÁS INFORMACIÓN

www.eventos.agroecologia.net

Organizan:



Colaboran:

APAEMA; APAEM; APAEEF; Associació de Varietats Locals;
Red de Semilles; CBPAE; Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació;
Consorci de la Serra de Tramuntana del Consell de Mallorca.

Edita:

Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecología (SEAE)

Camí del Port s/n. Km 1 Edif. ECA Apdo 397

46470 Catarroja (Valencia)

Tel/ Fax. 96 126 71 22

Página web: www.agroecologia.net. E-mail: comunicacion@agroecologia.net

ISBN: 978-84-949844-4-0



INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CULTIVO SOBRE LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y COMPONENTES BIOACTIVOS DE DOS PLANTAS ALIMENTICIAS INFRAVALORADAS (*Poriphyllum ruderale* y *Portulaca oleracea*)

Fukalova Fukalova, T¹, García Martínez MD², Raigón MD²

¹UCE Laboratorio de Fitoquímica y Productos Biológicos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, av. Universitaria, 170521 Quito, Ecuador

²Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia, España

e-mail: tfukalova@hotmail.com; magarma8@qim.upv.es; mdraigon@qim.upv.es;

Resumen

Las plantas silvestres han recibido una atención considerable refiriéndose a los aspectos etnobotánicos y farmacológicos. Sin embargo, el potencial de las plantas silvestres comestibles en término de sus beneficios nutricionales y bioactivos se ha investigado sólo en unos pocos casos, a pesar de ser una importante fuente de alimento. El presente estudio pretende ser un referente para promover la inclusión de dos plantas alimenticias infravaloradas como alternativa nutricional en dietas equilibradas y saludables. Se ha evaluado la composición nutricional y componentes bioactivos en *Poriphyllum ruderale* y *Portulaca oleracea*, en condiciones mediterráneas de crecimiento silvestre y cultivo ecológico. La cuantificación de nutrientes y compuestos bioactivos se realizó con hojas y tallos pequeños de planta fresca. La composición proximal y mineral se determinó con los métodos oficiales. El análisis de antioxidantes se realizó con la técnica de DPPH y los compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu. Se determinaron también otros componentes químicos como nitratos, pH y acidez total. Los componentes nutricionales más representativos fueron la fibra cruda y carbohidratos en condiciones silvestres para *P. ruderale* y en condiciones cultivadas para *P. oleracea*. Los macroelementos minerales con mayor abundancia fueron calcio y magnesio en *P. ruderale* cultivada y *P. oleracea* silvestre. Para ambas especies el microelemento destacado fue el hierro en condiciones silvestres. Ambas especies en condiciones silvestres destacaron por un alto contenido de antioxidantes y clorofila. Los resultados sugieren que ambas plantas tienen un considerable potencial nutritivo y alto contenido de compuestos bioactivos, además pueden diversificar la producción y un ingrediente atractivo en dietas saludables.

Palabras clave: especies infravaloradas, composición nutricional, compuestos bioactivos, dieta saludable

Introducción:

Entre los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el tercer ODS está enfocado en la salud y bienestar humano (ONU, 2019). Para lograr el desarrollo sostenible es

fundamental garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todas las personas a cualquier edad. Las especies alimenticias infravaloradas podrían contribuir a este ODS debido a su naturaleza nutritiva y por tener propiedades medicinales, promoviendo la salud y el bienestar. Igualmente, las plantas silvestres comestibles podrían ser un medio de utilización sostenible de recursos locales y diversificar las dietas aportando nuevos sabores y aromas.

La dieta mediterránea como patrimonio de la humanidad (González-Turmo y Medina, 2012) se destaca por el consumo de vegetales, entre los cuales se encuentran las plantas silvestres que todavía se incluyen como dieta tradicional. Muchas de estas especies comestibles son características por su estacionalidad y pueden ser consumidas en ciertas épocas del año. La población local aprecia estas plantas por sus propiedades organolépticas y nutritivo-medicinales. No obstante, en general el uso de las especies silvestres comestibles a menudo se ha relegado a un entorno muy local y se ha infravalorado a nivel mundial. El abandono de las especies que en algún momento fueron un componente importante de la alimentación les otorga el estatus de infravaloradas u olvidadas, acrecentando la pobreza alimentaria y pérdida del patrimonio de la agrobiodiversidad. Y al mismo tiempo, la supresión de estos recursos y la ausencia de vínculos adecuados entre conservación y utilización son un peligro importante para la seguridad alimentaria futura (Torrija-Isasa y Matallana-González, 2016).

Hoy en día, los cultivos agrícolas domesticados, han desplazado a la gran mayoría de las especies silvestres, conocidas y apreciadas antiguamente. Sin embargo, las tradiciones mediterráneas han hecho posible que algunos recursos vegetales silvestres sigan estando presentes en la dieta de muchas personas y formen parte de la gastronomía tradicional (Tardío *et al.*, 2006). En este contexto, conservar la selección de productos tradicionales locales, la transmisión de conocimientos y las actividades culinarias tradicionales, forman parte de la resiliencia al mundo globalizado y cambiante actual. Por otra parte, hay que destacar significativamente los beneficios para la salud que aporta la dieta mediterránea, corroborado por diferentes estudios, incluidos varios de naturaleza nutricional (Mosconi *et al.*, 2014; Safouris *et al.*, 2015; Gardener y Caunca, 2018; Gubert *et al.*, 2020).

Estos efectos beneficiosos se deben a la presencia de los compuestos bioactivos como son microelementos, vitaminas, antioxidantes y polifenoles que pueden prevenir enfermedades crónicas, cardiovasculares, cáncer, entre otras. Estos compuestos fitoquímicos en combinación con los compuestos nutricionales actúan sinérgicamente mejorando los efectos para la prevención de estas enfermedades (van Breda y de Kok, 2018; Demasi *et al.*, 2021). Los vegetales de hoja verde son una base importante de la dieta mediterránea y aportan una gran cantidad de antioxidantes.

Como señala Medina (2017) el patrimonio alimentario (dieta mediterránea en este caso), debe ser recreado constantemente, y ello dentro de marcos culturales en la evolución continua, que demanda capacidad de adaptación alimentario. En tal sentido todos los estudios que avanzan en el conocimiento de los alimentos tradicionales consumidos localmente son muy valiosos desde el punto de vista cultural y nutricional. Por ello se ha estudiado la influencia de las condiciones de cultivo de dos plantas alimenticias infravaloradas inherentes al periodo de cultivo de primavera verano en condiciones mediterráneas: verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y quirquiña (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass). Estas especies se han introducido en aspectos de la gastronomía tradicional del litoral valenciano (España). Como objetivos de esta investigación se estableció: 1) el estudio de la composición nutricional, componentes bioactivos y otros componentes químicos presentes en las dos especies; 2) evaluar la composición de las especies en función de las condiciones de crecimiento (silvestre y cultivo ecológico). Dado que las especies silvestres están bien adaptadas a las condiciones ambientes locales, pueden asegurar producciones constantes bajo condiciones ambientales adversas. De esta forma las plantas ya conocidas y utilizadas tradicionalmente para la alimentación con un valor añadido podrían considerarse hortalizas para la estructura productiva local, así como fuente beneficiosa para la salud. En particular, el cultivo en condiciones ecológicas de vegetales infravalorados podría ser una alternativa interesante y una alternativa económica

complementaria a las rentas agrarias.

Material/Métodos:

Material vegetal y preparación de muestras

La recolección de las especies se realizó en la temporada de primavera-verano de 2020 en dos condiciones de crecimiento, en la misma zona del litoral de Valencia: 1) condiciones de agricultura ecológica; 2) condiciones silvestres. Los métodos del cultivo ecológico se llevaron a cabo en la finca de la Unió de Llauradors i Ramaders en la Marjal del Moro (Sagunto, Valencia) con certificación ecológica desde hace 18 años. Las plantas silvestres se recolectaron en las zonas próximas a la zona de cultivo. El área se encuentra dentro de las latitudes N 39°45'13'' y longitudes W 0°12'21''.

Ambas plantas son especies herbáceas con distribución cosmopolita en las regiones templadas y tropicales. Su descripción se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de plantas estudiadas

Especie	Nombre común	Clasificación	Características	Usos alimentarios
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga, purslane	Orden: Caryophylliales Familia: Portulacaceae Género: Portulaca Especie: oleracea	Planta anual. Se encuentra en áreas de alta irradiación. Considerada como arvense.	De tallos y hojas suculentas. Se consumen crudas en ensaladas o cocinadas en sopa. Hojas de sabor algo agrio, salado y picante.
<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass	Quirquiña, cilantro boliviano, papaloquelite	Orden: Asterales Familia: Asteraceae Género: Porophyllum Guett Especie: ruderale	Planta anual. Nativa del continente americano. De clima cálido. Crece en gran diversidad de suelos. De tallos y hojas lisas con glándulas oleíferas	Se emplean las hojas y tallos crudos en ensaladas y salsas, en sustitución de otras verduras. Las hojas tienen un sabor fuerte, picante y muy particular.

P. oleracea es una planta muy extendida que se usa como planta comestible y también en la medicina tradicional. Está aumentando el interés por cultivar verdolaga ya que algunas investigaciones previas indican que los brotes de esta planta son una fuente rica en nutrientes bioprotectores (Spina *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009; Franco *et al.*, 2011; Iranshahy *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019).

P. ruderale también se ha utilizado en la medicina tradicional (Conde-Hernández y Guerrero-Beltrán, 2014), aunque en el trabajo de revisión de Marques *et al.* (2020) se resalta la escasez de estudios científicos sobre esta planta, así como de trabajos respecto a los aspectos químicos y agronómicos. Por el contrario, se encuentran algunas investigaciones sobre la caracterización química de su aceite esencial (Fonsceca *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2016). Algunas propiedades de los compuestos fitoquímicos, según las fuentes bibliográficas consultadas, de las plantas estudiadas se resumen en la Figura 1.

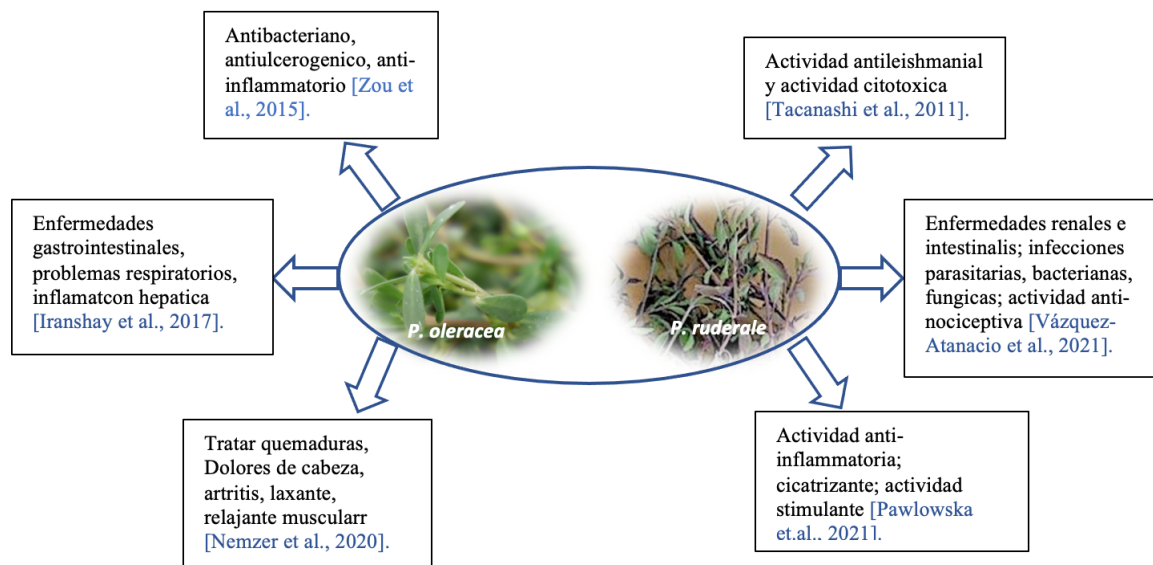


Figura 1. Actividad biológica que muestran las especies de *P. oleracea* y *P. ruderale*.

Las muestras de cada planta fueron recolectadas en estado de planta adulta, tomando aproximadamente 1 kg de cada especie. Las partes aéreas como las hojas y tallos tiernos se separaron y se utilizaron para la extracción y cuantificación de los compuestos bioactivos: antioxidantes totales, polifenoles totales, clorofilas y otros compuestos químicos (pH, nitratos, acidez total). El resto del material vegetal se sometió al proceso de deshidratación en estufa a 70 °C (J.P.Selecta) y una vez secos a una molienda (Retsch KG-5657 Haan Remscheid Germany) para el análisis proximal y del perfil fenólico. Se realizaron tres repeticiones en cada parámetro.

Reactivos y Estándares

Se prepararon disoluciones de metanol al 80% (v/v) y de acetona al 80% (v/v) a partir de los reactivos de pureza con grado analítico. Otros reactivos empleados han sido carbonato de sodio; ácido cítrico, ácido bórico, ácido sulfúrico, ácido hidroclorehídrico; ácido fosfórico; cloruro de lantano (III), hidróxido sódico procedentes de Scharlau y reactivo Trolox (ácido 6-hydroxy-2,5,7,8,-tetramethyl-chroman-2-carboxílico); 2,2'-azobis-2-methylpropanimidaminda; 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH); reactivo de Folin-Ciocalteu y ácido gálico procedentes de Sigma-Aldrich Co.

Análisis proximal y determinación de los minerales.

Las determinaciones se realizaron por los métodos oficiales: humedad (AOAC 984.25), proteínas (AOAC 984.13), grasa (AOAC 983.23), fibra (AOAC 991.43) y cenizas (AOAC 923.03). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia. La digestión de las muestras para la determinación del contenido en minerales se realizó de acuerdo al método AOAC 985.35. El análisis de los minerales fue realizado por espectroscopía de absorción atómica empleando un equipo Thermo Elemental AA series, a excepción del fósforo que se analizó colorimétricamente (AOAC, 2005).

Evaluación de componentes bioactivos.

Todos los métodos analíticos aplicados fueron optimizados y validados para los análisis específicos de las muestras vegetales.

El contenido en antioxidantes totales se determinó por el método de DPPH siguiendo la metodología de Brand-Willams (1995) modificada. La reacción se realizó en el extracto obtenido al mezclar 0.8 g de la muestra con 5 mL de metanol (80% v/v) durante 1 hora a la temperatura ambiente en un agitador orbital SO1 (StuartScientific). Una alícuota del extracto (100 µL) se añadió al reactivo (0.025 g/L de DPPH en disolución metanólica) hasta su neutralización, reaccionando durante 45 minutos en oscuridad. La absorbancia se midió a 515 nm (Schott UVline9400). La curva de calibración se realizó con Trolox como estándar. Los resultados fueron expresados µmoles de Trolox equivalentes en 100 g de peso fresco (µmol TE 100 g⁻¹ pf).

Para determinar el contenido fenólico total se mezcló una alícuota del extracto acuoso (0.5 mL) con el reactivo Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio. La absorbancia se midió a 750 nm en el espectrofotómetro UV/V (JENWAY 6715/UV-Vis) transcurrida 1 hora de incubación. Se utilizó ácido gálico como estándar para la curva de calibración. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico en 100 g de peso fresco (mg GAE 100 g⁻¹ pf).

El contenido de clorofilas se determinó mediante el método de Hansmann (1973) adaptado. Se realizó un extracto con una disolución de acetona (80% v/v) y se filtró. Una vez filtrada, se midió la absorbancia a 645 nm, 653nm y 663 nm (Schott UVline9400). Los resultados se expresaron como miligramos de clorofila en 100 g de materia fresca (mg·100 g⁻¹ mf).

Otros parámetros químicos: nitratos, pH y acidez total

En la determinación de estos parámetros se empleó el mismo extracto acuoso de las partes aéreas de las plantas, a una temperatura entre 25 y 30 °C, en proporción 1:2 (w/v), previa trituración mecánica del material vegetal. Los nitratos y el pH se midieron directamente con el equipo ION-Meter GLP 22+ (CRISON), utilizando los electrodos respectivos. La acidez total se determinó potenciométricamente con disolución 0.05 N de NaOH y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

Análisis estadístico

Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron como medias ± SD. El análisis de varianza y la diferencia significativa entre medias se realizó mediante ANOVA multivariante y el nivel de significancia $p < 0.05$, empleando el programa Statphaphics Plus[®] versión 5.1. Las diferencias entre grupos fueron determinadas por comparaciones entre medias (Tukey contrast).

Resultados y Discusión

Análisis proximal

La tabla 2 muestra los contenidos porcentuales de los parámetros nutricionales de las hojas y tallos tiernos de las especies bajo las dos condiciones de crecimiento (silvestres y cultivadas), así como los valores de macro (Ca, Mg, K, P, Na) y microminerales (Fe, Cu, Zn) obtenidos.

Se observa que las especies silvestres (*P. ruderale* con 84.70% y *P. oleracea* con 88.39%) tienen un mayor nivel de humedad que sus homólogas cultivadas con diferencia significativa ($p = 0.0000$). El contenido de minerales totales, expresados como porcentaje de cenizas es mayor en *P. oleracea* que en *P. ruderale* y en ambas especies es más bajo en las condiciones silvestres que en las condiciones cultivadas.

ANEXO 1. TRABAJOS DERIVADOS

Tabla 2. Valores promedios de componentes nutricionales y minerales en las partes aéreas de cada especie: media \pm error estándar y probabilidad (p-valor) para diferencias significativas entre condiciones de cultivo.

	<i>P. ruderale</i>			<i>P. olerace</i>			
	Silvestre	Cultivada	p-value	Silvestre	Cultivada	p-value	
Nutricionales (g 100 g⁻¹ pf)	Humedad	84.70 ^a \pm 0.43	76.64 ^b \pm 0.02	0.0000	88.39 ^a \pm 0.24	83.12 ^b \pm 1.09	0.0014
	Cenizas	1.49 ^b \pm 0.02	2.33 ^a \pm 0.02	0.0020	2.62 ^b \pm 0.02	3.39 ^a \pm 0.06	0.0084
	Proteína cruda	1.89 ^a \pm 0.00	1.19 ^b \pm 0.01	0.0002	1.56 \pm 0.00	1.49 \pm 0.00	0.1988
	Grasa	0.66 ^a \pm 0.00	0.41 ^b \pm 0.01	0.0156	0.32 ^b \pm 0.00	0.99 ^a \pm 0.00	0.0000
	Fibra cruda	5.50 \pm 1.88	3.57 \pm 0.66	0.1003	2.39 \pm 0.01	2.60 \pm 0.89	0.7178
	Carbohidratos	6.80 ^b \pm 3.49	17.55 ^a \pm 0.63	0.0008	4.72 ^b \pm 0.21	8.41 ^a \pm 0.90	0.0183
	Valor energético (kcal 100 g ⁻¹)	40.70 \pm 1.16	78.65 \pm 0.22	-	28.00 \pm 0.07	48.51 \pm 0.30	-
Minerales (mg 100 g⁻¹ pf)	Calcio	439.29 ^b \pm 119.86	687.49 ^a \pm 19.22	0.0240	186.67 ^a \pm 28.36	110.59 ^b \pm 16.02	0.0005
	Magnesio	131.15 ^b \pm 9.22	185.54 ^a \pm 21.10	0.0150	165.33 ^a \pm 9.50	91.68 ^b \pm 18.91	0.0000
	Potasio	515.28 \pm 49.22	477.75 \pm 40.99	0.3676	776.67 ^a \pm 171.50	271.91 ^b \pm 34.37	0.0000
	Fósforo	56.48 ^b \pm 3.31	84.57 ^a \pm 3.96	0.0007	33.67 ^b \pm 0.93	58.73 ^a \pm 7.56	0.0000
	Sodio	7.19 \pm 1.21	8.21 \pm 1.60	0.4337	16.60 ^a \pm 0.03	0.81 ^b \pm 0.06	0.0000
	Hierro	1.80 \pm 0.12	1.70 \pm 0.17	0.4495	1.80 \pm 0.18	1.35 \pm 0.18	0.1960
	Cobre	0.17 ^b \pm 0.01	0.37 ^a \pm 0.01	0.0000	0.14 ^b \pm 0.01	0.36 ^a \pm 0.05	0.0000
Zinc	0.51 ^a \pm 0.04	0.39 ^b \pm 0.03	0.0157	0.99 ^b \pm 0.06	1.08 ^a \pm 0.14	0.0011	

Nota: las letras supraíndice (a-d) indican diferencias significativas (p<0.05)

La proteína cruda mostró un valor superior en *P. ruderale* en condiciones silvestres. En la especie *P. oleracea* no se observaron diferencias significativas de este nutriente en función del sistema de crecimiento. El contenido de grasa en el caso de *P. ruderale* resultó superior en condiciones silvestres (5.50%) vs condiciones cultivadas (3.57%), mientras para *P. oleracea* este mismo parámetro resultó ser superior para el caso de condiciones cultivadas (0.99%). Para ambas especies las diferencias entre sistemas de cultivo son significativas, con p=0.0156 (*P. ruderale*) y p=0.0000 (*P. oleracea*). La fibra cruda no presentó diferencias significativas entre los sistemas de cultivo en ninguna de las dos especies, mostrando el nivel más alto en *P. ruderale* (5.50%). Los carbohidratos presentaron altos niveles en condiciones cultivadas vs condiciones silvestres, para ambas especies, aunque las mayores diferencias de este parámetro nutricional se observan en las partes comestibles de *P. ruderale* (p=0.0008).

La caracterización del contenido de nutrientes en hortalizas es una importante contribución como información, para el establecimiento de los requerimientos diarios de una dieta balanceada. Los niveles nutricionales que forman parte de la composición dependen de la genética de la especie y de los factores edafoclimáticos, como la humedad y temperatura entre otros. El contenido de humedad de la parte vegetativa, determina la frescura de las hortalizas, así como las características de color (Kibar *et al.*, 2021). Por otro lado, la estabilidad y la calidad de los alimentos también se ven afectadas por el contenido de humedad, influyendo en la seguridad alimentaria. Los mayores niveles de humedad, en las condiciones silvestres, para ambas especies, probablemente están relacionados con la capacidad para retener el agua del

suelo, en las zonas silvestres y la capacidad de ser absorbida y acumularse en el material vegetal. Valores muy similares de humedad en especies vegetales se reportan para las hortalizas convencionales como perejil (88%) (BEDCA, 2022), y valores superiores se han encontrado en *P. oleracea* (97.3%) procedente de Sudan (Obied *et al.*, 2003) o reportado en la base de datos de USDA (2019) con 92.9% de humedad para verdolaga.

Las cenizas es la parte inorgánica de la planta que se relacionan estrechamente con el contenido de los minerales. Las cenizas, presentan una variación entre 0.44-0.67% en *P. ruderale*, valores más bajos que los reportados por Carillo (2014) para la misma especie procedente de México (2.04%). La variación entre 2.62-3.39% en *P. oleracea* es muy superior al reportado por USDA (2019) para la misma especie con procedencia americana (1.36%).

Los valores de proteína cruda encontrados en este estudio presentaron diferencias significativas entre las condiciones de cultivo en caso de *P. ruderale* ($p=0.0002$) y no presentó diferencia en el caso de *P. oleracea*. Se puede afirmar que ambas especies no son una fuente proteica alternativa a diferencia de otras especies silvestres comestibles como *C. album* (26.42%) o del género *Amaranthus* (21.38%) (Ozbucak *et al.*, 2007). En general, la cantidad de proteína de las especies estudiadas es similar a la de lechuga común (1.13%) o de escarola (1.6%) (BEDCA, 2022).

El contenido de grasa fue significativamente diferente entre las condiciones de cultivo en ambas especies. Las condiciones de cultivo orgánico triplicaron el valor de grasa en comparación con las condiciones silvestres. El contenido de grasa es muy similar al reportado por Pinela *et al.* (2017) para la especie silvestre portuguesa de *P. oleracea* (0.39%). De forma general, todos los valores se encontraron por debajo de 1.0%, confirmando que las plantas estudiadas son una fuente baja en grasas lo que podría tomarse en cuenta para diseñar dietas saludables (Kaur *et al.*, 2014; Marrelli *et al.*, 2020). Asimismo, conocer los perfiles lipídicos para determinar los ácidos grasos esenciales podría ser de interés nutricional ya que estos tienen importancia para la salud, como fuente de ácidos grasos insaturados.

La fibra cruda varió entre 2.39-5.50%, sin presentar diferencias entre sistemas de cultivo para ninguna de las dos especies. El contenido de fibra se puede considerar alto ya que supera el rango reportado por autores (Kim *et al.*, 2016) en lechugas iceberg, romana, de hoja verde y morada desde 0.9 hasta 2.1 g·100 g⁻¹ en peso fresco o reportado por Tardío *et al.* (2016) para la especie *P. oleracea* (1.20%). Estos resultados indican que las partes aéreas de ambas especies son una buena fuente de fibra cruda y su ingesta diaria aporta los beneficios para la salud.

La concentración de carbohidratos varió en los rangos 4.72-8.41% (*P. oleracea*) y 6.80-17.55% (*P. ruderale*). El contenido de carbohidratos en *P. oleracea* superó al reportado por Tardío *et al.* (2016) para la misma especie con 1.98%. Alto contenido de este macronutriente es una reserva de almacenamiento de energía a corto plazo.

Los valores calóricos estimados de las plantas estudiadas en las dos condiciones de crecimiento fluctuaron entre 28.0-78.65%, en las se encontró que *P. ruderale* tiene el valor calórico más alto en condiciones cultivadas (Tabla 1). No obstante, ambas especies se posicionan como alimentos de bajo nivel en calorías y 100 g de su consumo contribuyen con apenas el 4% del valor energético referenciado (2000 kcal/día) para adultos (Regulation (EU) No 1169/2011). De esta manera las especies estudiadas son unos alimentos apropiados para las dietas bajas en calorías.

Elementos minerales

Los requerimientos nutricionales humanos exigen la ingesta de elemento minerales, que se diferencian en macrominerales (requieren mayores cantidades diarias) y microminerales (con cantidades diarias requeridas pequeñas) (Quintaes y Díez-García, 2015). La composición en minerales individuales de las dos especies estudiadas se presenta en la Tabla 1. El rango de calcio está entre 110.59 mg·100 g⁻¹ de porción comestible en *P. oleracea* y 687.49 mg·100 g⁻¹ en *P. ruderale*, ambos en condiciones cultivadas, destacando a *P. ruderale* como fuente de

calcio: al estimar la ingesta dietética de referencia de Ca en 1200 mg por día (WHO, 2004), 100 g de consumo de *P. ruderale* en fresco representa un aporte de más del 55% de requerimientos diarios, para adultos de este elemento. Los vegetales ricos en calcio son la col rizada, el brócoli y los berros, que aportan entre 100 y 150 mg por cada 100 g (Cormick y Belizán, 2019), aunque el impacto que estos alimentos tienen sobre la ingesta total de calcio depende de los patrones de consumo alimentario de la población.

El magnesio está entre 91.68 mg·100 g⁻¹ en *P. oleracea* y 185.54 mg·100 g⁻¹ en *P. ruderale* ambas cultivadas y entre 131.15 mg·100 g⁻¹ y 165.33 mg·100 g⁻¹ en sus homólogas silvestres. La cantidad de magnesio es más dependiente de las condiciones de crecimiento en *P. oleracea*, con diferencias significativas (p=0.0000) en el caso de *P. ruderale*. En general, el magnesio es un elemento crítico en muchas funciones celulares, siendo un cofactor en más de 300 enzimas del cuerpo y tiene funciones que afectan a la conducción nerviosa (Nielsen, 2018). Los estudios indican que la ingesta de Mg por debajo de 237 mg/día está asociada con deficiencias en la salud ósea (Nielsen *et al.*, 2011).

El valor medio de potasio osciló entre 515.28 y 776.67 mg·100 g⁻¹ en las especies silvestres. La superioridad del K en condiciones silvestres posiblemente está relacionada con la disponibilidad en las áreas más rústicas, que muestran menos absorción que las cultivadas de forma continuada. Las funciones de este elemento están relacionadas con la regulación osmótica y la electroneutralidad de las células (Renna *et al.*, 2015).

La concentración de fósforo se extendió desde 33.67 a 84.57 mg·100 g⁻¹, con diferencias significativas entre los sistemas de cultivo en ambas especies, superando las cultivadas vs las silvestres. El bajo contenido de este elemento puede relacionarse con niveles bajos en los suelos, en caso de condiciones silvestres y en caso de condiciones de cultivo puede estar influenciados con las prácticas agrícolas y los aportes realizados en forma de materia orgánica.

Las concentraciones en sodio, en función del sistema de crecimiento, mostraron diferencias significativas (p=0.0000) sólo en *P. oleracea*, duplicando el contenido de Na en condiciones silvestres vs. cultivada. El promedio de concentración de este elemento fue más alto en *P. oleracea* (8.71 mg·100 g⁻¹) vs *P. ruderale* (7.7 mg·100 g⁻¹). En general, para los seres humanos, el Na juega un papel vital en la regulación de equilibrio de líquidos y presión arterial (Renna *et al.*, 2015). La WHO (2006) recomienda su ingesta por debajo de 2 g por día para prevenir las enfermedades cardiovasculares atribuidas a la presión arterial alta. El resultado del presente estudio mostró que todas las especies analizadas pueden ser consideradas como contribuyentes de bajo aporte diario de sodio.

Entre los microminerales, el de mayor concentración es el hierro con 1.8 mg 100 g⁻¹ peso fresco, para ambas especies en condiciones silvestres, seguido del zinc con promedios de 0.45 mg 100 g⁻¹ (*P. ruderale*) vs 1.04 mg 100 g⁻¹ (*P. oleracea*). El microelemento de menor concentración es el cobre, en condiciones silvestres para ambas plantas (0.14-0.17 mg 100 g⁻¹) vs 0.37 mg 100 g⁻¹ (condiciones cultivadas). Estos minerales participan como cofactores estructurales, regulatorios y catalíticos en el desarrollo de huesos y cartílagos (Ceccanti *et al.*, 2021), así como funciones neurológicas y de reproducción (Renna *et al.*, 2015). En el cuerpo humano el Fe actúa como transportador del oxígeno y su déficit es uno de los trastornos nutricionales más comunes. Considerando que el requerimiento de su ingesta diaria es de entre 8 a 10 mg (WHO, 2004), las especies de este estudio podrían aportar alrededor de 18% del requerimiento. Comparando con la espinaca baby (1.26 mg/100 g) y la espinaca madura (1.06 mg/100 g) (USDA, 2019), el contenido de Fe en las muestras estudiadas es superior.

El zinc también es un componente esencial para el ser humano ya que participa en la síntesis y degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Su rol central en el sistema inmune está respaldado por varios estudios (WHO, 2004) que también han mostrado que, con dietas bajas en Zn, las actividades de las enzimas se pueden mantener dentro de un rango normal. Si se tiene en cuenta la cantidad diaria recomendada de Zn (10 mg/día, Odhav *et*

al., 2007) las plantas del estudio pueden proporcionar entre 4.5-10% de lo recomendado. En espinaca madura y espinaca baby, el contenido de Zn es de 0.42 mg/100 g y 0.45 mg/100 g, respectivamente, que son valores similares a los encontrados en este estudio y superiores a los de la lechuga romana (0.25 mg/100 g) (USDA, 2019).

Alto contenido de cobre se encontró en ambas especies recolectadas en condiciones de cultivo ecológico, superando más de 2.5 veces del contenido de este elemento en sus homologas silvestres. Este elemento es esencial para el ser humano ya que es vital para ciertas enzimas y proteínas (Renna *et al.*, 2015), así como es requerido en la síntesis de colágeno y movilización del hierro (Kibar y Temel, 2015). Las partes comestibles de las plantas estudiadas se muestran como una fuente moderada de este oligoelemento, que representa el 15.6% (especies silvestres) y el 41.1% (especies cultivadas) por cada 100 g de su consumo en fresco, considerando que el consumo diario recomendado de cobre es de 0.9 mg/día (Pinela *et al.*, 2017).

Componentes Bioactivos

Los compuestos bioactivos o componentes no nutricionales son antioxidantes, compuestos fenólicos y clorofilas entre otros. En las plantas estos compuestos están involucrados en el crecimiento, reproducción y la defensa frente a los patógenos y se conocen como metabolitos secundarios. Para los seres humanos estos compuestos ejercen efectos beneficiosos por su actividad biológica y promueven la buena salud (Pandey y Rizvi, 2009). Por tanto, estas moléculas bioactivas afectan a la calidad nutricional de los alimentos, ya que atribuyen al alimento una cualidad funcional.

El contenido de antioxidantes totales (TAO), compuestos fenólicos totales (PFT) y clorofila total (Chl) de las plantas silvestres infravaloradas de este estudio se presenta en la Figura 2.

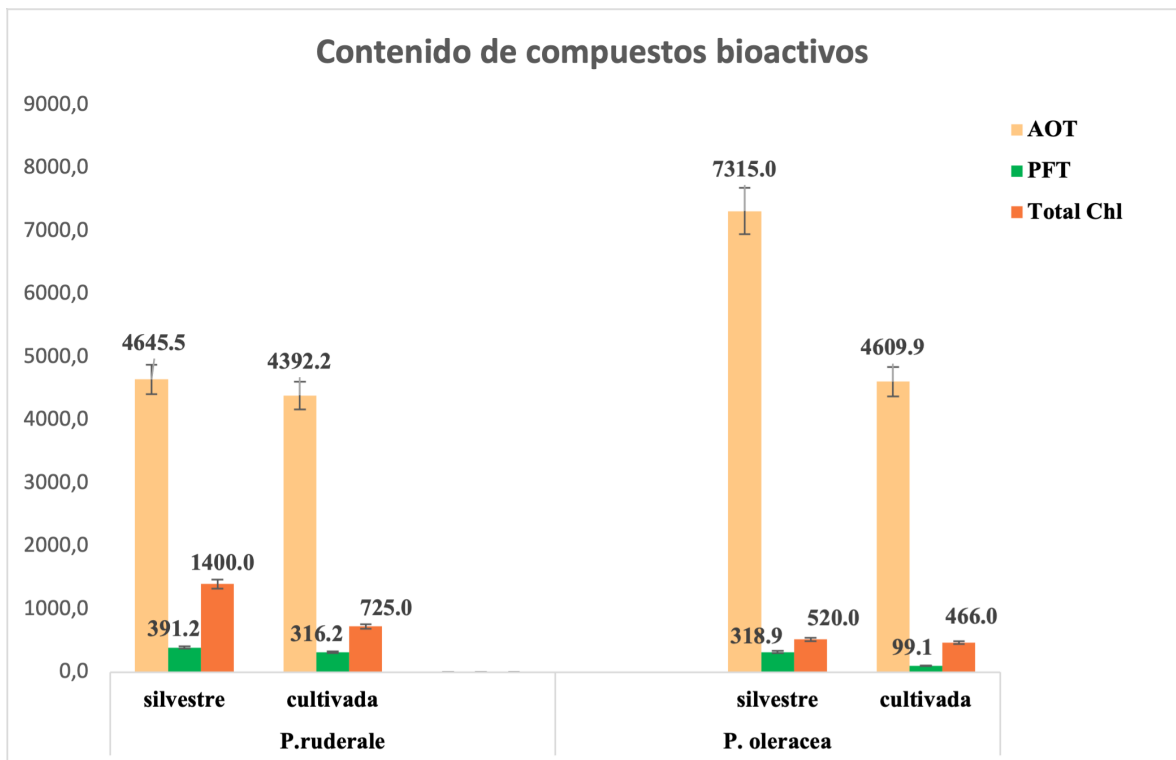


Figura 2. Valores promedios de componentes bioactivos. AOT: antioxidantes totales ($\mu\text{mol TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); PFT: fenoles totales ($\text{mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); Total Chl: clorofila total ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

La cantidad de antioxidantes totales en las muestras frescas de ambas plantas oscila desde 4645.53 hasta 7135.0 ($\mu\text{mol TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) para las especies silvestres frente a sus homólogos

cultivadas (4392.2-4609.9 $\mu\text{mol TE}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) con diferencias significativas entre los sistemas de crecimiento en ambas especies. El contenido de compuestos fenólicos totales no presentó diferencias significativas entre los sistemas de crecimiento, para *P. ruderale*. No obstante, se observó diferencias significativas entre las cultivadas (99.1 mg GAE $\cdot 100\text{ g}^{-1}$) y silvestres (318.9 mg GAE $\cdot 100\text{ g}^{-1}$) para los niveles de *P. oleracea*. La cantidad de clorofilas en las muestras frescas fue superior en las especies silvestres de ambas plantas, aunque sólo se presentaron diferencias significativas en *P. oleracea*. De forma general, ambas especies presentan altos niveles de compuestos bioactivos, en especial antioxidantes totales que son superiores en las especies silvestres, destacando *P. oleracea*. En algunas plantas la actividad antioxidante está correlacionada con compuestos fenólicos (Conde-Hernandez y Guerrero-Beltrán, 2014). El contenido total de compuestos fenólicos es muy superior al reportado por Kim *et al.* (2016) para las hojas baby verdes de la lechuga variedad “Simpson Elite” (65-67 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$) y las hojas rojas de la variedad “Red Cross” (250-260 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$). Las hojas de *P. oleracea* silvestre de Túnez estudiada por Dabbou *et al.* (2020) contienen entre 477 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de fenoles totales y o-difenoles, cantidad superior a la encontrada en este estudio para la misma especie. Por el contrario, las hojas de *P. oleracea* mediterránea reportada por Tardío *et al.* (2016) mostraron resultados en compuestos fenólicos de 270 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$ que resultó ser una concentración menor a la de este estudio, para la misma especie en condiciones silvestres y mayor que en su homóloga cultivada.

Las clorofilas son pigmentos responsables del color verde de las hojas, fueron analizados en este estudio como parte de los compuestos bioactivos. En todas las muestras analizadas, la concentración de clorofila *a* fue mayor que la de clorofila *b*. En la Figura 2 se representa la cantidad de clorofila total. Su cantidad prevalece en las especies silvestres de ambas plantas y su rango está entre 520 (*P. oleracea*) y 1400 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$ (*P. ruderale*) de muestra fresca. Por el contrario, la variación de clorofila total en condiciones de cultivo ecológico fue menor (466-725 mg $\cdot 100\text{ g}^{-1}$). El estudio sobre la clorofila total en las hojas de *P. oleracea* de Túnez (742 mg en 100 g) realizado por Dabbou *et al.* (2020) reportó una cantidad de clorofila total mayor a la encontrada en este estudio para la misma especie.

En general, la cantidad superior de los compuestos bioactivos en condiciones silvestres en este estudio probablemente se debe a que estos metabolitos secundarios son responsables del sistema de defensa de las plantas. Al estar sometidas a las condiciones de estrés, se puede aumentar el contenido total de fenoles en las hojas. También, la etapa de cosecha tiene un efecto significativo en el contenido fenólico total, así como la edad de la planta (Petropoulos *et al.*, 2019). Uno de los parámetros más significativos para evaluar el estado fisiológico de las plantas es el contenido de las clorofilas que puede utilizarse como un índice del estado nutricional y de estrés de la planta (Silla *et al.*, 2010). Como compuestos bioactivos, las clorofilas tienen actividad antioxidante y antimutagénica, y juegan un papel importante en la prevención del cáncer (Kang *et al.*, 2018). Su aprovechamiento es mejor cuando las plantas se consumen en fresco, ya que estos pigmentos naturales son termolábiles y se destruyen con el calor.

Otros parámetros químicos

La tabla 3 muestra los valores de la concentración en nitratos, el pH y la acidez total, expresada en porcentaje de ácido cítrico. Los nitratos y pH mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sistemas de cultivo, tanto en la especie *P. ruderale* como en la especie *P. oleracea*. Por el contrario, la acidez total, no presentó diferencias significativas entre sistemas de crecimiento en *P. oleracea* y resultó ser menor en *P. ruderale* silvestre (0.10%), indicando que son hojas menos ácidas para el consumo.

Tabla 3. Valores promedios de los parámetros químicos en las partes aéreas de cada especie: media \pm error estándar y p-valor, entre condiciones de cultivo.

	<i>Portulaca oleracea</i> L.					<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass				
	Silvestre	CV (%)	Cultivada	CV (%)	p-value	Silvestre	CV (%)	Cultivada	CV (%)	p-value
Nitratos (mg NO₃⁻ kg⁻¹ pf)	777.33 ^a \pm 91.1	11.72	304.4 ^b \pm 66.5	21.85	0.0019	470.99 ^a \pm 33.32	7.07	114.63 ^a \pm 25.32	22.09	0.0001
pH	5.93 ^a \pm 0.05	0.84	5.29 ^a \pm 0.05	0.94	0.0002	6.57 ^a \pm 0.02	0.30	3.58 ^a \pm 0.20	5.59	0.0001
Acidez (% ácido cítrico)	0.10 ^b \pm 0.01	10.00	0.19 ^a \pm 0.01	5.00	0.0337	0.14 ^{ab} \pm 0.02	14.28	0.19 ^{ab} \pm 0.03	15.79	0.1079

Nota: los supraíndices a,b indican la existencia de diferencias significativas entre sistemas de cultivo

El equilibrio en el ciclo natural del nitrógeno en las plantas puede ser modificado por las prácticas agronómicas realizadas y por las condiciones climáticas, así como por las condiciones de almacenamiento durante la post cosecha. La toxicidad de los nitratos aumenta al reducirse a nitritos. Sin embargo, WHO/FAO indica que la ingesta diaria aceptable de nitratos expresados como iones es de 3.7 mg NO₃⁻kg⁻¹ de peso corporal. Estas limitaciones avalan la importancia de determinar la cantidad de nitratos en las hojas de las plantas comestibles. El valor de pH y de acidez total interfieren en las cualidades organolépticas de las especies y se consideran los parámetros de calidad interna de hortalizas en la industria agroalimentaria (Cajamar, 2014). En general las plantas de este estudio mostraron valores de pH más altos en las especies silvestres, en el rango de 5.93-6.57 y por tanto, la acidez más alta en las especies cultivadas con 0.19% de ácido cítrico.

Conclusiones y Recomendaciones:

Se evaluó la influencia de las condiciones de crecimiento sobre la composición nutricional y componentes bioactivos de dos plantas comestibles infravaloradas *P. ruderale* y *P. oleracea*. El análisis proximal de las partes aéreas ha puesto en valor el alto contenido de fibra cruda y carbohidratos en las plantas analizadas. En el contenido de minerales se destacó la concentración de calcio y potasio con mayor nivel cuando las plantas proceden de condiciones cultivadas en *P. ruderale* y en las condiciones silvestres en *P. oleracea*. El oligoelemento hierro fue relevante en ambas plantas y en ambas condiciones de crecimiento. Las especies de este estudio tienen niveles significativos altos de los compuestos bioactivos con propiedades funcionales. Estos resultados sugieren que las plantas silvestres infravaloradas pueden formar parte de la dieta como una alternativa frente a la variedad de hortalizas utilizadas comúnmente, reforzando las prácticas tradicionales de consumo de especies silvestres. Adicionalmente, estas especies pueden considerarse adecuadamente complementarias para alcanzar los niveles recomendados de oligoelementos en la dieta.

Bibliografía:

- AOAC: *Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemist*, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemist (AOAC International): Washington, DC, USA, 2005
- BEDCA (2022). Base de datos Española de Composición de Alimentos. <https://www.bedca.net/bdpub/>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.*, 28: 25-30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Cajamar (2014). Parámetros de Calidad Interna de Hortalizas y Frutas en la Industria Agroalimentaria. <https://www.cajamar.es/storage/documents/005-calidad-interna-1410512030-cc718.pdf>
- Carillo, S.R. (2014). Estudio del papaloquelite (*Porophyllum ruderale*) como alimento funcional. <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/0710090/0710090.pdf>
- Ceccanti, C., Brizzi, A., Landi, M., Incrocci, L., Pardossi, A., Guidi, L. (2021). Evaluation of major minerals and trace elements in wild and domesticated edible herbs traditionally used in the Mediterranean area. *Biological Trace Element Research*, 199(9): 3553-3561. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02467-3>
- Cormick, G., Belizán, J.M. (2019). Calcium Intake and Health. *Nutrients* 11(7): 1606. <https://doi.org/10.3390/nu11071606>
- Conde-Hernández, L.A., Guerrero-Beltrán, J.Á. (2014). Total phenolics and antioxidant activity of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale*. *Food chemistry*, 142: 455-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.078>
- Dabbou, S., Lahbib, K., Pandino, G., Dabbou, S., Lombardo, S. (2020). Evaluation of pigments, phenolic and volatile compounds, and antioxidant activity of a spontaneous population of *Portulaca oleracea* L. grown in Tunisia. *Agriculture*, 10(8): 353. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080353>
- Demasi, S., Caser, M., Donno, D., Enri, S.R., Lonati, M., Scariot, V. (2021). Exploring wild edible flowers as a source of bioactive compounds: New perspectives in horticulture. *Folia Horticulturae*, 33(1), 27-48.
- Fonsecca, M.C., Barbosa, L.C., Nascimento, E.A., Casali, V.W. (2006). Essential oil from leaves and flowers of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cassini (Asteraceae). *Journal of Essential Oil Research*, 18(3), 345-347 <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699108>
- Franco, J.A., Cros, V., Vicente, M.J., Martínez-Sánchez, J.J. (2011). Effects of salinity on the germination, growth, and nitrate contents of purslane (*Portulaca oleracea* L.) cultivated under different climatic conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(1): 1-6. <https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512716>
- Gardener, H., Caunca, M.R. (2018). Mediterranean Diet in Preventing Neurodegenerative Diseases. *Curr Nutr Rep* 7: 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0222-5>
- González-Turmo, I. Medina, F.X. (2012) Retos y responsabilidades tras la declaración de la dieta mediterránea como patrimonio cultural inmaterial de la humanidad (UNESCO). <https://www.researchgate.net/publication/305043987>
- Gubert, C., Kong, G., Renoir, T., Hannan, A.J. (2020). Exercise, diet and stress as modulators of gut microbiota: Implications for neurodegenerative diseases. *Neurobiology of disease*, 134, 104621. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2019.104621>
- Iranshahy, M., Javadi, B., Iranshahi, M., Jahanbakhsh, S.P., Mahyari, S., Hassani, F.V., Karimi, G. (2017). A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Portulaca oleracea* L. *Journal of ethnopharmacology*, 205: 158-172. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.05.004>
- Kang, Y.R., Park, J., Jung, S.K., Chang, Y.H. (2018). Synthesis, characterization, and functional properties of chlorophylls, pheophytins, and Zn-pheophytins. *Food chemistry*, 245: 943-950. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.079>
- Kaur, N., Chugh, V., Gupta, A.K. (2014). Essential fatty acids as functional components of foods- a review. *J. Food Sci. Technol.* 51: 2289–2303. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0677-0>
- Kibar, B., Temel, S. (2015). Evaluation of mineral composition of some wild edible plants growing in the eastern Anatolia region grasslands of turkey and consumed as vegetable. *J. of Food Processing and Preservation*, 40:56-66. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12583>
- Kibar, H., Sönmez, F., Temel, S. (2021). Effect of storage conditions on nutritional quality and color characteristics of quinoa varieties. *Journal of Stored Products Research*, 91, 101761. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101761>
- Kim, M.J., Moon, Y., Tou, J.C., Mou, B., Waterland, N.L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49: 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Li, Y.H., Lai, C.Y., Su, M.C., Cheng, J.C., Chang, Y.S. (2019). Antiviral activity of *Portulaca oleracea* L. against influenza A viruses. *Journal of ethnopharmacology*, 241, 112013. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112013>

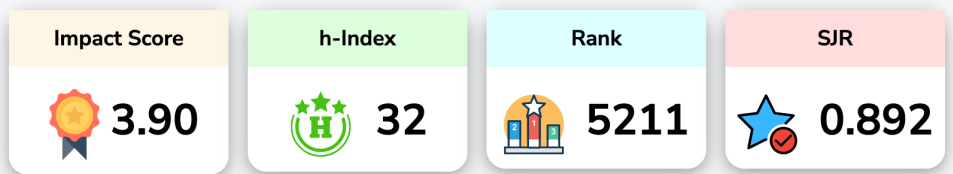
- Marrelli, M., Statti, G., Conforti, F. (2020). A review of biologically active natural products from Mediterranean wild edible plants: benefits in the treatment of obesity and its related disorders. *Molecules*, 25(3), 649. <https://doi.org/10.3390/molecules25030649>
- Marques, É.A., de Oliveira, J.A., Coelho, A.D., Salimena, J.P., Gavilanes, M.L. (2020). *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. uma revisão dos últimos 39 anos. *Research, Society and Development*, 9(7), e944975215-e944975215. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5215>
- Medina, F.X. (2017). Reflexiones sobre el patrimonio y la alimentación desde las perspectivas cultural y turística. In: *Anales de antropología* Vol. 51, No. 2, pp. 106-113. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.antro.2017.02.001>
- Mosconi, L., Murray, J., Tsui, W.H., Li, Y., Davies, M., Williams, S., ... & de Leon, M.J. (2014). Mediterranean diet and magnetic resonance imaging-assessed brain atrophy in cognitively normal individuals at risk for Alzheimer's disease. *The journal of prevention of Alzheimer's disease*, 1, 23. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4165397/>
- Nemzer, B., Al-Taher, F., Abshiru, N. (2020). Phytochemical composition and nutritional value of different plant parts in two cultivated and wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) genotypes. *Food Chemistry*, 320, 126621.
- Nielsen, F., Lukaski, H., Johnson, L., Roughead, Z. (2011). Reported zinc, but not copper, intakes influence whole-body bone density, mineral content and T score responses to zinc and copper supplementation in healthy postmenopausal women. *British Journal of Nutrition*, 106(12): 1872-1879. <https://doi.org/10.1017/S0007114511002352>
- Nielsen, F. (2018). Magnesium deficiency and increased inflammation: current perspectives. *Journal of inflammation research*, 11: 25. <https://doi.org/10.2147/JIR.S136742>
- Obied, W.A., Mohamoud, E.N., Mohamed, O.S.A. (2003). *Portulaca oleracea* (purslane): nutritive composition and clinic-pathological effects on Nubian goats. *Small Ruminant Research*, 48(1): 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00182-7)
- Odhav, B., Beekrum, S., Akula, U.S., Baijnath, H. (2007). Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(5): 430-435. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.04.015>
- Organización de Naciones Unidas (ONU, 2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- Ozbucak, T.B., Akçin, Ö.E., Yalçın, S. (2007). Nutrition contents of the some wild edible plants in Central Black Sea Region of Turkey. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 1: 11-13.
- Pandey, K.B., Rizvi, S.I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2(5): 270-278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Pawłowska, K. A., Baracz, T., Skowrońska, W., Piwowarski, J. P., Majdan, M., Malarz, J., ... & Granica, S. (2021). The contribution of phenolics to the anti-inflammatory potential of the extract from Bolivian coriander (*Porophyllum ruderale* subsp. *runderale*). *Food Chemistry*, 371, 131116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131116>
- Petropoulos, S.A., Fernandes, Â., Tzortzakis, N., Sokovic, M., Ciric, A., Barros, L., Ferreira, I.C. (2019). Bioactive compounds content and antimicrobial activities of wild edible Asteraceae species of the Mediterranean flora under commercial cultivation conditions. *Food Research International*, 119:859-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.069>
- Pinela, J., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C. (2017). Wild edible plants: Nutritional and toxicological characteristics, retrieval strategies and importance for today's society. *Food and Chemical Toxicology*, 110: 165-188. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.020>
- Quintaes, K.D., Díez-García, R.W. (2015). The importance of minerals in the human diet. Handbook of mineral elements in food. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1002/9781118654316.ch1>
- Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers, amending Regulations (EC) No 1924/2006 and (EC) No 1925/2006 of the European Parliament and of the Council, and repealing Commission Directive 87/250/EEC, Council Directive 90/496/EEC, Commission Directive 1999/10/EC, Directive 2000/13/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Directives

- 2002/67/EC and 2008/5/EC and Commission regulation (EC) No 608/2004. Off. J. Eur. Union. 54, 18–63.
- Renna, M., Cocozza, C., Gonnella, M., Abdelrahman, H., Santamaria, P. (2015). Elemental characterization of wild edible plants from countryside and urban areas. *Food Chemistry*, 117(15): 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.069>
- Safouris, A., Tsvigoulis, G., Sergentanis, T., Psaltopoulou, T. (2015). Mediterranean diet and risk of dementia. *Current Alzheimer Research*, 12(8): 736-744. <https://doi.org/10.2174/1567205012666150710114430>
- Santos, V., Sussa, F.V., Gonçalves, E., Silva, P.S., Felicio, J.D. (2016). Comparative study of the essential oil effects on the *Aspergillus flavus* growth. In: PETERS, MIRANDA (ed.). *Essential Oils: Historical Significance, Chemical Composition, and Medicinal Uses and Benefits*. Hauppauge, New York, USA: Nova Science Publishers, 2016. cap. 8. p. 139-152. <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/31160>
- Spina, M., Cuccioloni, M., Sparapani, L., Acciarri, S., Eleuteri, A.M., Fioretti, E., Angeletti, M. (2008). Comparative evaluation of flavonoid content in assessing quality of wild and cultivated vegetables for human consumption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(2): 294-304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3089>
- Silla, F., González-Gil, A., González-Molina, M.E., Mediavilla, S., Escudero, A. (2010). Estimation of chlorophyll in Quercus leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of Forest Science*, 67(1): 108. <https://doi.org/10.1051/forest/2009093>
- Takahashi, H. T., Novello, C. R., Ueda-Nakamura, T., Filho, B. P. D., Palazzo de Mello, J. C., & Nakamura, C. V. (2011). Thiophene derivatives with antileishmanial activity isolated from aerial parts of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. *Molecules*, 16(5), 3469-3478. <https://doi.org/10.3390/molecules16053469>
- Tardío, J., Pardo-de-Santayana, M., Morales, R. (2006). Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(1): 27-71. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00549.x>
- Tardío, J., Sánchez-Mata, M.D.C., Morales, R., Molina, M., García-Herrera, P., Morales, P., ... Boussalah, N. (2016). Ethnobotanical and food composition monographs of selected Mediterranean wild edible plants. In *Mediterranean wild edible plants* (pp. 273-470). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7_13
- Torrija-Isasa, M., Matallana-González, M. (2016) A Historical Perspective of Wild Plant Foods in Mediterranean Area. In: *Mediterranean wild edible plants: ethnobotany and food composition tables*; Sánchez-Mata, M., Tardío, J. (Eds.); Springer: New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3329-7>
- USDA. (2019). <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169274/nutrients>
- van Breda, S.G., de Kok, T.M. (2018). Smart combinations of bioactive compounds in fruits and vegetables may guide new strategies for personalized prevention of chronic diseases. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(1), 1700597. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700597>
- Vázquez-Atanacio, M.J., Bautista-Ávila, M., Velázquez-González, C., Castañeda-Ovando, A., González-Cortazar, M., Sosa-Gutiérrez, C.G., Ojeda-Ramírez, D. (2021). *Porophyllum* genus compounds and pharmacological activities: A review. *Scientia Pharmaceutica*, 89(1), 7. <https://doi.org/10.3390/scipharm89010007>
- WHO: World Health Organization. (2004). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*, 2nd ed.; Geneva, Switzerland. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42716>
- WHO World Health Organization. (2006). *Reducing salt intake in populations—Report of a WHO forum and technical meeting*. https://www.who.int/dietphysicalactivity/Salt_Report_VC_april07.pdf
- Yang, Z., Liu, C., Xiang, L., Zheng, Y. (2009). Phenolic alkaloids as a new class of antioxidants in *Portulaca oleracea*. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 23(7): 1032-1035. <https://doi.org/10.1002/ptr.2742>
- Zhou, Y.X., Xin, H.L., Rahman, K., Wang, S.J., Peng, C., Zhang, H. (2015). *Portulaca oleracea* L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. *BioMed. Res. Int.*, article ID 925631. [doi:10.1155/2015/925631](https://doi.org/10.1155/2015/925631)

PUBLICACIÓN 1: *Plants*

Plants- Impact Score, Overall Ranking, h-index, SJR, Rating, Publisher, ISSN, and Other Important Metrics

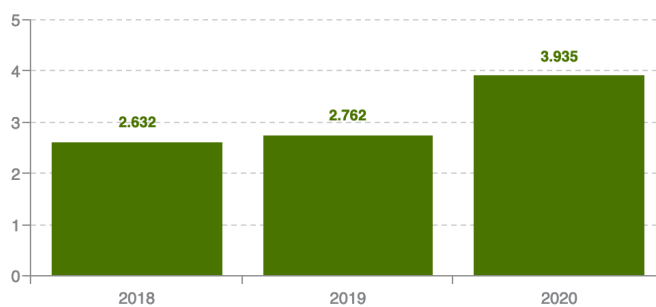
Last Updated on November 16, 2021



The journal "Plants" of MDPI publisher is ranged Q1 (OA) and IF=3.899 in 2020 --> This is very quality journal at the current time.



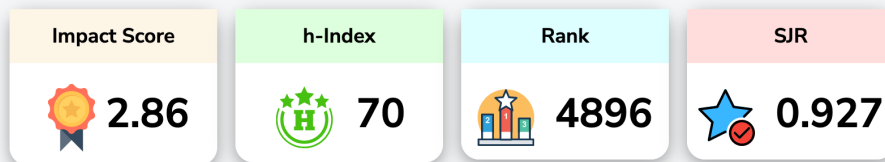
Impact Factor



PUBLICACIÓN 2: *Peer J*

PeerJ- Impact Score, Overall Ranking, h-index, SJR, Rating, Publisher, ISSN, and Other Important Metrics

Last Updated on November 16, 2021



PeerJ

Open Access

Scopus coverage years: from 2013 to Present

Publisher: PeerJ

ISSN: 2167-8359

Subject area: Agricultural and Biological Sciences: General Agricultural and Biological Sciences

Biochemistry, Genetics and Molecular Biology: General Biochemistry, Genetics and Molecular Biology [View all](#)

Source type: Journal

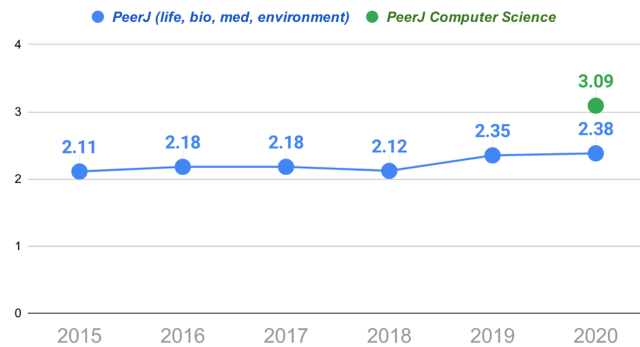
CiteScore 2020
3.8

SJR 2020
0.927

SNIP 2020
1.040



Impact Factor



PUBLICACIÓN 3: Frontiers in Nutrition

Frontiers in Nutrition- Impact Score, Overall Ranking, h-index, SJR, Rating, Publisher, ISSN, and Other Important Metrics

Last Updated on May 27, 2022

