

Propiedades funcionales, aprovechamiento industrial y potenciales usos de la zarzamora (*Rubus* spp.) sobre la salud humana

Functional properties, industrial use and potential uses of blackberries (*Rubus* spp.) on human health

Angélica Villarruel-López¹; Yaír Adonaí Sánchez-Nuño^{2*}, Eleonor Estefany Herrejón-Vázquez³; Eduardo Eliezer Flores-García⁴ y César Orozco-Enríquez⁵

1 Laboratorio de Microbiología Sanitaria, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Av. Marcelino García Barragán No. 1451, 44430. Guadalajara, Jalisco, México.

2 Departamento de Bienestar y Desarrollo Sustentable, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara, Carretera Federal No. 23, Km. 191, C.P. 46200, Colotlán, Jalisco, México.

3 Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Morelia, Tecnológico Nacional de México. Av. Tecnológico No. 1500, C.P. 58120, Morelia, Michoacán de Ocampo, México.

4 Academia de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Tecnológico Nacional de México. Carretera Uruapan-Carapan No. 5555, C.P. 60015, Uruapan del Progreso, Michoacán de Ocampo, México.

5 Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de La Piedad, Tecnológico Nacional de México. Av. Tecnológico No. 2000, C.P. 59370, La Piedad, Michoacán de Ocampo, México. *Correo-e: yair.sanchez@academicos.udg.mx

Recibido: 31/enero/2025 Aceptado: 22/marzo/2025 // <https://doi.org/10.32870/rayca.v0i0.106>

ID 1er. Autor: Angélica Villarruel-López / ORCID: 0000-0003-3458-1221

ID 1er. Coautor: Yaír Adonaí Sánchez-Nuño / ORCID: 0000-0003-3609-5243

ID 2do. Coautor: Eleonor Estefany Herrejón Vázquez / ORCID: 0009-0000-3408-399X

ID 3er. Coautor: Eduardo Eliezer Flores García / ORCID: 0009-0001-8077-6284

Resumen

El género *Rubus* incluye plantas de la familia de las rosáceas, como zarzamoras y frambuesas, conocidas por sus compuestos bioactivos antioxidantes con efectos positivos en la salud humana. Este trabajo describe la composición nutrimental y los compuestos bioactivos antioxidantes del género *Rubus*, así como sus beneficios para la salud y posibles usos industriales para aprovechar desperdicios. La revisión destaca las actividades biológicas de *Rubus* en la prevención de comorbilidades prevalentes como enfermedades metabólicas, cardiovasculares, cáncer, trastornos inmunitarios, dislipidemias, diabetes e hipertensión. Debido a esto, se recopilan documentos científicos que demuestran los usos potenciales de *Rubus* y sus compuestos en la salud humana y la industria alimentaria, reduciendo desperdicios y obteniendo beneficios de sus componentes. Se menciona la necesidad de más estudios clínicos para comprender completamente la eficacia de las intervenciones dietéticas y farmacológicas con *Rubus* y sus compuestos bioactivos, así como su dosificación.

Palabras clave: *Rubus*, antioxidantes, fitoquímicos, sostenibilidad, aprovechamiento industrial.

Abstract

The *Rubus* genus includes plants from the *Rosaceae* family, such as blackberries and raspberries, known for their antioxidant bioactive compounds with positive effects on human health. This work describes the nutritional composition and antioxidant bioactive compounds of the *Rubus* genus, as well as its health benefits and possible industrial uses to take advantage of waste. The review highlights the biological activities of *Rubus* in the prevention of prevalent comorbidities such as metabolic diseases, cardiovascular diseases, cancer, immune disorders, dyslipidemias, diabetes and hypertension. Scientific documents are compiled and demonstrate the potential uses of *Rubus* and its compounds in human health and the food industry, reducing waste and obtaining benefits from its components. The need for more clinical studies is mentioned to fully understand the effectiveness of dietary and pharmacological interventions with *Rubus* and its bioactive compounds, as well as their dosage.

Keywords: *Rubus*, antioxidants, phytochemicals, sustainability, industrial use.

Introducción

En la dieta diaria es posible encontrar diferentes tipos de alimentos, los cuales ofrecen un aporte nutrimental específico, muchas veces no es el adecuado pero aun así lo consumimos ya sea por accesibilidad, preferencia, desconocimiento, entre otros factores, debido a esto se ha iniciado un cambio en muchos productos que podemos encontrar para que además de aportarnos los característicos nutrimentos del alimento también contengan sustancias que nos aporten un beneficio a nuestra salud (Meléndez-Sosa et al., 2020), debido a que actualmente en México se ha encontrado un aumento de enfermedades como lo son diabetes, hipertensión y cáncer, entre otras.

Recientemente, la pandemia por COVID-19 dejó, igualmente, muchas secuelas en las poblaciones, que podrían verse minimizadas al consumir ciertos compuestos bioactivos (Méndez Castillo et al., 2020). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2025), la primera causa de muerte en México son enfermedades del corazón, de las cuales se esperaban un total de 386 153 defunciones, cuando en realidad fueron 545 403, dicha cifra representa un aumento de un 41,24% a la cifra esperada, en segundo lugar, se encuentra la diabetes mellitus que también aumentó un 27,64% y en tercer lugar las defunciones por tumores malignos que aumentaron un 2%.

Ante la alerta en la salud de la población es importante tomar las medidas adecuadas para reducir esas cifras (Güemes-Vera et al., 2020), no necesariamente deben usarse materias primas nuevas, ya que en varios desechos o residuos alimentarios generados en la producción a nivel industria alimentaria (Burgalia, 2021), se encuentran biomasas, que deben ser analizadas para conocer sus características fisicoquímicas, carbohidratos estructurales y componentes extractivos (fenoles y capacidad antioxidante) para ser

aprovechados (Rojas-González et al., 2019); asimismo, se debe considerar el proceso de transformación adecuado para reutilizar (Reyes-Portillo et al., 2020) y aprovechar principalmente aquellas sustancias bioactivas que aporten beneficios a la salud humana (Burgalia, 2021).

Son frutos de interés para el aprovechamiento de sus propiedades las zarzamoras y frambuesas (*Rubus* spp.), las cuales cuando no son exportadas por perder ciertos atributos de calidad se consideran como residuos (Grandez Yoplac, 2021), entre los atributos de calidad solicitados por los consumidores se pueden mencionar principalmente las siguientes características: tamaño, forma, firmeza y uniformidad en los frutos, y como aspectos secundarios la uniformidad del color y olor (Morfín Magaña et al., 2023), cuando en su proceso de maduración se presenta e involucra cualquiera de los atributos mencionados disminuye su aceptación en el mercado lo cual a su vez reduce la venta de este producto generando en muchas ocasiones un residuo en el proceso de postcosecha (Carbajal Núñez, 2021; Fredes et al., 2023).

La investigación sobre el aprovechamiento de subproductos agrícolas, específicamente de especies del género *Rubus* (como zarzamoras y frambuesas), es de gran relevancia debido a varios factores críticos relacionados con la sustentabilidad y el impacto ambiental. La gestión adecuada de los subproductos agrícolas es esencial para promover la economía circular y el desarrollo sostenible (Santeramo, 2022).

En lugar de considerar estos subproductos como desechos, se pueden reutilizar y revalorizar para obtener compuestos bioactivos con aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Miranda & Zavaleta-Cortijo, 2023). Este enfoque puede reducir la cantidad de residuos generados y contribuir a la conservación de recursos

naturales y a la reducción de la huella de carbono de la agricultura (Ye et al., 2024).

La producción agrícola genera una cantidad significativa de residuos que, si no se manejan adecuadamente, pueden causar problemas ambientales como la contaminación del suelo y del agua, y la emisión de gases de efecto invernadero (Tudi et al., 2021). Los subproductos de *Rubus* spp., como hojas, tallos y frutos no comercializables, pueden ser una fuente importante de contaminación si se dejan descomponer en el campo o se queman (Ravichandran & Krishnaswamy, 2023). Sin embargo, su aprovechamiento mediante métodos de procesamiento sostenibles puede mitigar estos impactos negativos.

Composición química y nutrimental de *Rubus* spp.

La composición química y nutrimental varía moderadamente según la especie del género *Rubus*, no obstante, se han obtenido medias de las diversas variedades y géneros, representando de manera fidedigna un acercamiento a su composición y caracterización nutrimental y fitoquímica. En el cuadro 1 se presenta el contenido de macronutrientes de *Rubus* spp. En el cuadro 2 se presenta el contenido de micronutrientes del mismo género taxonómico, mientras que en el cuadro 3 se muestran la clase y contenido de fitoquímicos presentes en las especies del género *Rubus*.

El estrés abiótico, como la sequía y las temperaturas extremas, puede influir significativamente en el cultivo del género *Rubus*, afectando la producción de fitoquímicos (Castañeda-Cardona et al., 2024). Las plantas de *Rubus*, al enfrentar condiciones de estrés, activan mecanismos de defensa que incluyen la producción de compuestos bioactivos como antioxidantes y otros fitoquímicos (De la Asunción-Romero et al., 2024).

Cuadro 1. Macronutrientes de zarzamora (*Rubus* spp.) en 100 g de peso fresco

Componente	Valor nutrimental
Energía (kcal)	43
Proteínas (g)	1,39
Lípidos totales (g)	0,49
Hidratos de carbono (g)	9,61
Fibra dietética total (g)	5,3
Azúcares totales (g)	4,88

Adaptado de: Martínez et al., 2022

Cuadro 2. Micronutrientes de zarzamora (*Rubus* spp.) en 100 g de peso fresco

Componente	Valor nutrimental
Calcio (mg)	29
Hierro (mg)	0,62
Magnesio (mg)	20
Fósforo (mg)	22
Potasio (mg)	162
Vitamina C - ácido ascórbico (mg)	21
Vitamina B1 - tiamina (mg)	0,020
Vitamina B2 - riboflavina (mg)	0,026
Vitamina B3 - niacina(mg)	0,646
Vitamina B6 - piridoxina (mg)	0,030
Vitamina B9 - folatos (µg)	25
Vitamina A (µg)	11
Vitamina E - tocoferoles y tocotrienoles (mg)	1,17

Adaptado de: Zafra Rojas, 2019

Estos cambios en la producción de fitoquímicos pueden variar según el tipo y la intensidad del estrés, así como la especie y el cultivar específico de *Rubus* (Wang et al., 2023). Por ejemplo, estudios han demostrado que el estrés hídrico puede aumentar la concentración de ciertos antioxidantes en las plantas de *Rubus*, lo que podría tener implicaciones tanto para la salud humana como para la industria alimentaria (De la Asunción-Romero et al., 2024; Wang et al., 2023). Sin embargo, es necesario realizar

más investigaciones para comprender completamente cómo diferentes tipos de estrés afectan la producción de fitoquímicos y cómo estos cambios pueden ser aprovechados de manera óptima.

Cuadro 3. Fitoquímicos de zarzamora (*Rubus* spp.) en 100 g de peso fresco

Fitoquímico	Cantidad mg/ 100 g de fruto fresco
Total de fenoles contenidos	147,86 ± 0,96
Flavonoides	184,72 ± 1,73
Antocianinas	146,37
Flavonoles totales	29,49
Flavonas	0,16
Total de Taninos	242,83 ± 2,39
Ácidos fenólicos	26–29
Total de antocianinas	1,93 ± 0,09
Total de ésteres tartáricos	29,191
Ácido gálico	13,798
Ácido caftárico	0,099
Ácido cafeico	0,033
Ácido siríngico	0,371
Procianidina B2	0,149
Catequinas	0,409
Epicatequinas	0,363
Quercetina-3-glucósido	0,353
Rutina	2,277
Quercetina	0,379

Adaptado de: Muniyandi et al., 2019;
Zia-Ul-Haq et al., 2014

Cabe mencionar que en un estudio, la capacidad antioxidante total de las moras varió entre 140 y 960 mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso fresco. El ácido gálico sólo está presente en pequeñas cantidades en las zarzamoras y, por lo tanto, no es el estándar de ácido fenólico deseado para el ensayo de Folin-Ciocalteu; sin embargo, es el fenólico reportado con mayor frecuencia para compararlo con los resultados de la literatura. En cuanto a las zarzamoras, los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos son las clases fenólicas más frecuentes, entre los que figuran el ácido gálico, el ácido elágico, las proantocianidinas, las antocianinas y las antociani-

dinas como las delfinidinas, petunidinas, pelargonidinas y cianidinas (Robinson et al., 2020).

El ácido elágico es el principal ácido fenólico presente en las zarzamoras. Este compuesto es un polifenol con cuatro grupos hidroxilo, estabilizados por resonancia, y pertenece a la familia de los ácidos hidroxibenzoicos. Durante la maduración de la fruta, el ácido elágico se sintetiza a partir de la degradación de los elagitaninos, que suelen estar glicosilados. Las bayas silvestres, incluyendo las del género *Rubus*, son una fuente significativa de elagitaninos y de su producto de degradación, el ácido elágico (Robinson et al., 2020).

Se han reportado variaciones en el contenido de fenoles totales en zarzamoras, con valores que oscilan entre 100 y 300 mg por 100 g de peso fresco (Zia-Ul-Haq et al., 2014). Estas diferencias pueden deberse a factores como la variedad de la zarzamora, las condiciones de cultivo y los métodos de análisis utilizados (Gil-Martínez et al., 2023).

El contenido de flavonoides en zarzamoras puede variar significativamente. Por ejemplo, un estudio encontró que el contenido de flavonoides totales en diferentes variedades de zarzamora oscilaba entre 150 y 250 mg por 100 g de peso fresco (Zia-Ul-Haq et al., 2014). Estas variaciones pueden estar influenciadas por factores genéticos y ambientales. Las antocianinas son los principales pigmentos responsables del color de las zarzamoras (Felipe-Mendoza et al., 2023). Se ha reportado que el contenido de antocianinas en zarzamoras puede variar entre 100 y 200 mg por 100 g de peso fresco. Las diferencias en los métodos de extracción y análisis pueden contribuir a estas variaciones (Zia-Ul-Haq et al., 2014).

Los flavonoles, como la quercetina y el kaempferol, son importantes antioxidantes. Estudios han encontrado que el contenido de

flavonoles en zarzamoras puede variar entre 20 y 40 mg por 100 g de peso fresco (Muniyandi et al., 2019). Las flavonas son menos abundantes en las zarzamoras en comparación con otros flavonoides (Valencia Sullca & Guevara Pérez, 2013). Los valores reportados en la literatura son generalmente bajos, similares a los presentados en el cuadro 3.

Los taninos son compuestos fenólicos que contribuyen a la astringencia de las zarzamoras (Karaklajic-Stajic et al., 2023). Se ha reportado que el contenido de taninos en zarzamoras puede variar ampliamente, con valores que oscilan entre 200 y 300 mg por 100 g de peso fresco (Staszowska-Karkut & Materska, 2020). Los ácidos fenólicos, como el ácido gálico y el ácido cafeico, son importantes antioxidantes. Se ha encontrado que el contenido de ácidos fenólicos en zarzamoras puede variar entre 20 y 30 mg por 100 g de peso fresco (Delgadillo Ramírez, 2015).

La presencia y concentración de ésteres tartáricos, ácido gálico, ácido caftarico, ácido cafeico, ácido sirínico, procianidina B2, catequinas, epicatequinas, quercetina-3-glucósido, rutina y quercetina pueden variar según la variedad de zarzamora y las condiciones de cultivo (Zia-Ul-Haq et al., 2014).

Por ejemplo, la quercetina y sus derivados son comunes en las zarzamoras y se han reportado en concentraciones similares a las presentadas en el cuadro 3. Por todo esto, las diferencias en las cantidades y perfiles de fitoquímicos presentes en las zarzamoras pueden atribuirse a una variedad de factores, incluyendo la variedad de la planta, las condiciones de cultivo, los métodos de procesamiento y los métodos de análisis utilizados (Xiong et al., 2024). La comprensión de estas variaciones es crucial para optimizar el uso de zarzamoras en aplicaciones nutraceuticas y funcionales.

Producción de *Rubus* spp. en México

Con una producción de 215 mil 923 toneladas, México se ubica como el principal productor de zarzamora a nivel mundial. Se cultiva en 12 estados del país, entre ellos Michoacán, Jalisco y Colima, sin embargo, es Michoacán su principal productor con el 97% del total de la producción de esta frutilla, según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2021).

La gestión de residuos agrícolas en México, especialmente de especies del género *Rubus* (como zarzamoras y frambuesas), presenta desafíos significativos en términos de sustentabilidad y problemática medioambiental (Molina-Guerrero et al., 2020). Los residuos agrícolas de estas especies incluyen restos de poda, hojas, y frutos no comercializables, los cuales pueden tener impactos negativos si no se manejan adecuadamente.

Los residuos de *Rubus* pueden contener pesticidas y fertilizantes que, al descomponerse, liberan sustancias tóxicas al suelo y cuerpos de agua. Esto puede llevar a la contaminación de acuíferos y afectar la calidad del agua potable (Chamberlain et al., 2024; Quispe Limaylla, 2015).

La descomposición anaeróbica de residuos de *Rubus* genera metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), ambos potentes gases de efecto invernadero. Estos gases contribuyen al cambio climático y al calentamiento global. La quema de residuos agrícolas, una práctica común en algunas regiones, puede llevar a la pérdida de nutrientes del suelo y a la erosión, afectando la productividad agrícola a largo plazo (Padilla-Bernal et al., 2020).

Con respecto a la sustentabilidad, el compostaje de residuos de *Rubus* puede transformar estos desechos en biofertilizantes, mejorando la calidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos. Este proceso también ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al evitar

la descomposición anaeróbica (Rodríguez-Bautista et al., 2019).

Los residuos de *Rubus* pueden ser utilizados para la producción de biogás y bioetanol, proporcionando una fuente de energía renovable y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles, esto no sólo mitiga el impacto ambiental, sino que también ofrece beneficios económicos a las comunidades rurales (Robati et al., 2023). Por último, la implementación de prácticas de economía circular en la gestión de residuos de *Rubus* podría promover la reutilización y reciclaje de materiales, minimizando los desechos y cerrando el ciclo de producción en un contexto de economía circular (Brunner & Morf, 2025).

Como ya se mencionó, existen diversos parámetros a considerar para el rechazo de zarzamoras para su venta comercial, respecto a su calidad:

Tamaño inadecuado: Las zarzamoras que son demasiado pequeñas o grandes no pueden cumplir con los estándares de tamaño establecidos para la venta. Los consumidores suelen buscar zarzamoras de tamaño uniforme y adecuado.

Color anormal: Las zarzamoras maduras y de buena calidad suelen tener un color negro intenso o morado oscuro. Si las zarzamoras presentan un color anormal, como verde o pálido, pueden ser consideradas de baja calidad y no cumplir con los estándares de venta

Textura irregular: Las zarzamoras deben tener una textura suave y firme. Si presenta una textura blanda, arrugada o irregular, no pueden ser consideradas aptas para la venta, ya que indican una falta de frescura o problemas de madurez.

Todas estas características se relacionan con la NMX-FF-129-SCFI-2016. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Fruta fresca-Zarzamora (*Rubus*

spp.)-Especificaciones y métodos de prueba (Secretaría de Economía, 2017).

Beneficios para la salud de los distintos compuestos presentados

Cada uno de los fitoquímicos mencionados en el cuadro 3 ofrece beneficios específicos para la salud del consumidor. Los fenoles totales, por ejemplo, se destacan por su alta capacidad antioxidante (Ascencio Arteaga, 2022). Además, poseen propiedades antiinflamatorias y pueden proporcionar beneficios en el tratamiento de enfermedades cardíacas y neurodegenerativas. Otro grupo de compuestos de interés son los flavonoides, que actúan como pigmentos naturales y agentes antioxidantes protectores del organismo. Estos flavonoides se encuentran predominantemente en la parte carnosa del fruto (Ramírez Lagunas et al., 2022).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de origen vegetal, cuya presencia en el reino animal se debe principalmente a la ingesta de plantas (Martini et al., 2023). Estos compuestos confieren propiedades características como tonalidades rojas o azules, sabores amargos y aromas distintivos. El consumo de compuestos fenólicos se asocia con una menor incidencia de enfermedades cardiovasculares (Ascencio Arteaga, 2022; Kocabas & Sanlier, 2024).

Del mismo modo, los flavonoides, que también son compuestos fenólicos y de bajo peso molecular producidos por casi todas las plantas vasculares, se consumen regularmente en la dieta humana. Estos compuestos se encuentran en alimentos como moras, fresas, chocolate y, en particular, en las zarzamoras. Los flavonoides tienen diversos efectos farmacológicos en el ser humano, incluyendo propiedades antineoplásicas, reducción del colesterol, protección y regeneración hepática, así como efectos analgésicos. (Estrada-Reyes et al., 2012). Todos estos compuestos fenólicos mencionados y sus derivados se destacan por tener una gran capa-

acidad antioxidante, debida principalmente a sus grupos hidroxilo (OH) libres que les permiten donar hidrogeniones y, de este modo, reducir moléculas oxidadas (Tzima

et al., 2023). En la figura 1 se ilustra la clasificación de los compuestos fenólicos a modo de diagrama.

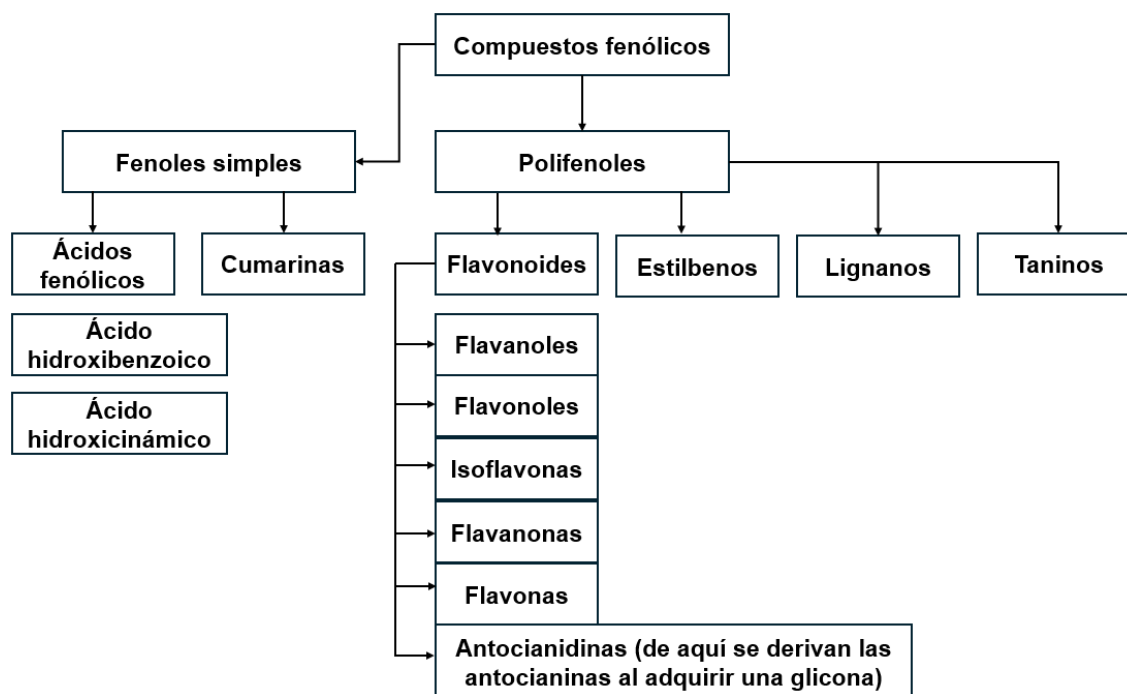


Figura 1. Diagrama de la clasificación de los compuestos fenólicos

Adaptada de: Alara et al., 2021; Ebrahimi & Lante, 2021; Robbins & Bean, 2004

Además, los flavonoides de la zarzamora tienen fuertes propiedades antioxidantes, lo que significa que pueden ayudar a proteger a las células del daño causado por los radicales libres, los cuales son moléculas inestables que pueden dañar el ADN y las células, lo que contribuye al aceleramiento del proceso de envejecimiento y a la generación y progresión de muy diversas enfermedades (Franck et al., 2020; Thorakkattu et al., 2025).

Hablando de las antocianinas se conocen por ser flavonoides, encargados de aportar pigmentos en diversos frutos, flores y verduras, proporcionan principalmente tonalidades violetas y azules (De la Rosa et al., 2022); entre sus aportaciones a la salud humana se

encuentran los efectos beneficiosos en patologías oncológicas y neoplásicas, debido a la inhibición de la transformación de células. Esto se debe a un bloqueo en las proteínas quinasas que son activadas por mitógenos generando un bloqueo en la expresión de proteínas activadoras que finalmente provocan una regulación en la inflamación que es un factor fundamental en la metástasis e inducción de apoptosis en células cancerosas (Rubio Ochoa et al., 2019).

En el cuadro 4 se presentan los resultados de algunos estudios clínicos que usaron especies del género *Rubus* spp., derivados de éstas o compuestos bioactivos que también se encuentran en este género de fruto.

Cuadro 4. Efectos biológicos de *Rubus* spp. y sus compuestos bioactivos principales demostrados por ensayos clínicos

Compuesto bioactivo presente en <i>Rubus</i>	Tipo de estudio	Dosis	Efecto observado	Referencia
Extracto de hoja de <i>Rubus idaeus</i>	Ensayo monocéntrico, aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo de 198 participantes con osteoartritis femorotibial, con intervención de 12 semanas	Cápsulas de 200 y 400 mg	Disminución significativa del dolor osteoarticular	Henrotin et al., 2022
Vitamina C, vitamina E y extracto de cultivo celular de hoja de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	Ensayo controlado, aleatorizado con 50 mujeres de 30 a 65 años con duración de ocho semanas	Suero de aplicación tópica con 20% de ácido ascórbico, 1% de acetato de tocoferilo y 0,0005% de cultivo celular de hoja de <i>Rubus idaeus</i>	El color, la elasticidad, la luminosidad de la piel, la suavidad, la descamación y las arrugas mejoraron significativamente. Las reacciones adversas leves fueron hormigueo y tirantez	Rattanawitpong et al., 2020
Frambuesa roja (<i>Rubus idaeus</i>) con fructooligosacáridos (FOS)	Ensayo clínico, aleatorizado, cruzado con 26 adultos con prediabetes y 10 sanos con 2 períodos de suplementación de cuatro semanas	Suplemento oral con el equivalente a 125 g de frambuesa roja y 8 g de FOS	Reducción de resistencia hepática a la insulina, colesterol total y LDL. Aumento de la función de las células β pancreáticas y de las bifidobacterias fecales	Zhang et al., 2022
Zarzamoras frescas (<i>Rubus occidentalis</i>)	Ensayo clínico, cruzado, aleatorio y controlado con dos períodos de tratamiento en 27 hombres con sobrepeso u obesidad durante siete días	Ingesta de 600 g/día de zarzamoras frescas equivalentes a 1 500 mg de flavonoides	Reducción significativa en el cociente respiratorio promedio de 24 h, lo que indica un aumento de la oxidación de grasas; disminución significativa del área bajo la curva de tolerancia de la insulina. Mejora en el HOMA-IR	Solverson et al., 2018
Frambuesas congeladas (<i>Rubus idaeus</i>)	Ensayo controlado, aleatorizado, de dos brazos, de grupos paralelos con 59 sujetos con sobrepeso u obesidad abdominal y con hiperinsulinemia o hipertrigliceridemia leve durante ocho semanas de intervención	Ingesta de 280 g/día de frambuesas congeladas	Aumento significativo en la expresión de 43 genes y enriquecimiento de varias vías funcionales involucradas en la regulación de la citotoxicidad, el tráfico de células inmunitarias, la transducción de señales de proteínas y la producción de interleucina. Sin disminución significativa en la insulina plasmática de la glucosa, las concentraciones de marcadores inflamatorios ni la presión arterial	Franck et al., 2020

Continúa...

...Continuación

Cuadro 4. Efectos biológicos de *Rubus* spp. y sus compuestos bioactivos principales demostrados por ensayos clínicos

Compuesto bioactivo presente en <i>Rubus</i>	Tipo de estudio	Dosis	Efecto observado	Referencia
Batido de “berries” con arándanos (<i>Vaccinium corymbosum</i>), fresas (<i>Fragaria vesca</i>) y frambuesas (<i>Rubus idaeus</i>)	Ensayo clínico, simple ciego, aleatorizado y controlado en 40 sujetos sanos de entre 20 y 30 años con una sola intervención (monodosis)	Batido oral de 400 mL con cantidades iguales de arándanos, fresas y frambuesas	Aumento significativo del rendimiento cognitivo y de la capacidad de concentración (durante al menos 6 h); tiempo de respuesta significativamente más rápido (durante al menos 6 h)	Whyte et al., 2019
Suplemento oral de zarzamora inmadura (<i>Rubus occidentalis</i>)	Ensayo clínico piloto, aleatorizado, doble ciego y controlado en 30 hombres con síntomas de andropausia y síndrome climatérico masculino, durante 12 semanas	Suplementación oral con 4,800 mg de zarzamora inmadura dos veces al día (9,600 mg/día)	Disminución significativa en síntomas miccionales, en colesterol LDL y colesterol total séricos. Mejora potencial en el metabolismo lipídico; alivio de síntomas del síndrome climatérico masculino y de la disuria	Jung et al., 2023

Métodos de Procesamiento

En la actualidad existen numerosas formas de procesamiento de alimentos y cada día surgen nuevas técnicas, mecanismos y herramientas. El procesado se realiza mediante la aplicación de diversos métodos que permiten modificar la condición del alimento para asegurar su consumo a futuro (Knorr & Augustin, 2025), incluyendo a las especies del género *Rubus*. Dentro de los procedimientos utilizados para la extracción de principios bioactivos de *Rubus*, así como de diversas frutas, se encuentran los siguientes:

Métodos de secado

Secado por aire caliente: es de los métodos más utilizados y consiste en la eliminación del agua del alimento, lo cual se logra mediante la aplicación de un flujo de aire a una velocidad y temperatura específicas. El secado al vacío se basa en la reducción del punto

de ebullición del agua al disminuir la presión. La ósmosis implica una reducción parcial del contenido de agua del alimento hacia una solución hipertónica, debido a un gradiente de potenciales químicos, lo que provoca un flujo de soluto desde la solución hacia el alimento y la salida de solutos disueltos del interior del alimento (Sánchez-Pasos et al., 2022).

Este método es ampliamente utilizado para secar frutos de *Rubus* debido a su eficiencia y costo relativamente bajo. El aire caliente facilita la remoción de agua, preservando los compuestos fenólicos y antioxidantes presentes en estos frutos (Eminoğlu et al., 2019).

El método de secado por aire caliente es utilizado típicamente en productos sólidos. Mientras que, entre los métodos utilizados para secar productos fluidos se encuentran

las tecnologías como la liofilización y la atomización (Knorr & Augustin, 2025).

Secado por liofilización: La liofilización ha abierto nuevas posibilidades para el procesamiento de frutas. Este método de secado se basa en la sublimación, que ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura del hielo en la superficie del alimento están por debajo del punto triple del agua. La liofilización se ha desarrollado para reducir pérdidas de aroma y sabor en los alimentos mediante la conservación en una cadena de frío indefinida, con un porcentaje de humedad del 15% y temperaturas muy bajas para evitar el crecimiento de microorganismos y la degradación de sus atributos organolépticos, nutritivos y fitoquímicos que son muy sensibles en procesos como el secado a altas temperaturas (Sánchez-Pasos et al., 2022).

La liofilización es altamente efectiva para preservar la estructura celular y los compuestos bioactivos de los frutos de *Rubus*. En un estudio, la liofilización asistida por calentamiento infrarrojo (IRFD) redujo un 43 % el tiempo de secado, mientras que no afectó el color de las moras secas, demostrando una mayor conservación de pigmentos antioxidantes como las antocianinas (Leite-Oliveira et al., 2023).

Secado por atomización (aspersión): El secado de atomización es una operación de transferencia simultánea de calor y masa, en donde ocurre la transformación de un fluido, ya sea dispersión, solución, o pasta en un material sólido, atomizando en forma de gotas en un medio de secado, obteniendo como producto un polvo (Cardona Tangarife et al., 2021).

Utilizada principalmente para productos fluidos, la atomización puede transformar los zumos de *Rubus* en polvos finos mediante la pulverización del líquido en una corriente de aire caliente. Este método es eficiente para obtener polvos de *Rubus* ricos en compuestos bioactivos, que pueden ser utili-

zados en la industria alimentaria y farmacéutica (Ferrari et al., 2011). En un estudio se demostró que el polvo de moras obtenido mediante secado por atomización conservaba sus características nutritivas hasta por 45 días, sin embargo, no se midió más allá de este período (Vega-Castro et al., 2024).

Microencapsulación de compuestos bioactivos alimentarios mediante secado por atomización (aspersión)

La técnica de secado por aspersión puede combinarse con diversos polímeros, tanto glucídicos como proteínicos, para formar microcápsulas que contienen compuestos funcionales. Este método permite suplementar alimentos mejorando uno o varios ingredientes esenciales que proporcionan beneficios para la salud humana. Además, la microencapsulación protege los compuestos encapsulados de la degradación prematura, prolongando su vida útil y aumentando su biodisponibilidad (Pang et al., 2025; Cardona Tangarife et al., 2021).

En un estudio, los autores concluyeron que los subproductos de mora con valor agregado podrían dar lugar a una industria más sostenible, mientras que sus subproductos agroindustriales presentan un contenido significativo de antocianinas (Yamashita et al., 2017).

Las maltodextrinas con diferentes equivalentes de dextrosa usadas para microencapsular influyen en las propiedades fisicoquímicas de los extractos y polvos de antocianinas. Los polvos producidos mediante microencapsulación muestran un gran potencial para ser utilizados como colorante natural o como ingrediente saludable (Yamashita et al., 2017).

Aplicación de compuestos de *Rubus* spp. en el campo de los alimentos funcionales

Los frutos de *Rubus* spp. contienen diversos componentes bioactivos tales como vitaminas, minerales, proteínas, azúcares, polifenos-

les, ácidos fenólicos y flavonoides, entre otros, los cuales pueden emplearse en la elaboración de matrices alimentarias simples o complejas usadas en la fabricación de alimentos funcionales (Grandez Yoplac, 2021). Es debido a esto que resulta conveniente extraer estos compuestos reactivos de los residuos de *Rubus* spp., que no pasan por el control de calidad de las empresas y evaluarlos clínicamente, para posteriormente poder usarlos como ingredientes funcionales para la prevención y como coadyuvantes de diversas patologías (Barkaoui et al., 2023).

Una de las formas en las que pueden aprovecharse estos compuestos bioactivos es extrayéndolos y adicionarlos a alimentos como el yogur para su fortificación. El yogur es un alimento consumido mundialmente, y se ha presentado evidencia científica que expresa que el yogur elaborado con “berries” presenta una mayor cantidad de compuestos fenólicos, flavonoides, entre otros compuestos bioactivos en comparación al control que era yogur natural (Barkaoui et al., 2023).

Las antocianinas presentes en los extractos de zarzamora son pigmentos naturales que proporcionan colores rojos, púrpuras y azules. Estos pigmentos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria para colorear productos como bebidas, yogures y confitería (Espada-Bellido et al., 2019).

Además, las antocianinas tienen la ventaja de ser solubles en agua y de ofrecer una alternativa natural a los colorantes sintéticos, aunque su estabilidad puede verse afectada por factores como el pH, la temperatura y la exposición a la luz (Cuesta-Riaño et al., 2022).

Asimismo, Los extractos de zarzamora son ricos en compuestos fenólicos, incluyendo flavonoides y antocianinas, que poseen una alta capacidad antioxidante (Lugo-Zarate et al., 2024). Estos compuestos pueden neutralizar radicales libres y reducir el estrés oxidativo, lo que los hace útiles en la

formulación de suplementos dietéticos y productos cosméticos (Olivero-Verbel et al., 2024). Estudios han demostrado que los extractos de zarzamora pueden mejorar la capacidad antioxidante de alimentos y bebidas, contribuyendo a la preservación de su calidad y prolongando su vida útil (Tzima et al., 2023).

Los extractos de zarzamora también se utilizan como saborizantes naturales en la industria alimentaria (Meléndez-Sosa et al., 2020). Su perfil de sabor característico, que combina notas dulces y ácidas, es apreciado en la elaboración de productos como mermeladas, jugos, helados y productos de panadería (Hua et al., 2025). La encapsulación de estos extractos puede mejorar su estabilidad y liberar el sabor de manera controlada durante el consumo (Kopjar et al., 2022).

Cabe destacar que los compuestos fenólicos presentes en los extractos de zarzamora y otras “berries”, como los taninos y las antocianinas, han mostrado actividad antimicrobiana contra una variedad de patógenos (Gil-Martínez et al., 2023). Estos extractos pueden inhibir el crecimiento de bacterias como *Staphylococcus aureus* (Aguilera-Correa et al., 2023), *Escherichia coli* (Salah-Eldin et al., 2024) y *Listeria monocytogenes* (Barbieri et al., 2022), así como de hongos como *Candida albicans* (Gil-Martínez et al., 2023).

Esta propiedad antimicrobiana hace que los extractos de zarzamora sean útiles en la conservación de alimentos y en la formulación de productos de higiene personal y cosméticos. Todas estas propiedades favorecen ampliamente el uso de *Rubus* spp. y sus derivados en el diseño, desarrollo, producción y comercialización de alimentos funcionales.

Conclusiones

1. Los alimentos funcionales se están convirtiendo en una alternativa cada vez más

viable para mejorar la salud de las personas de manera crónica, ya que su consumo regular ofrece diversos beneficios. Es crucial presentar estos compuestos beneficiosos de manera atractiva para el público, utilizando alimentos a los que ya estén habituados, con el fin de facilitar la ingesta de dichos compuestos bioactivos.

2. En este contexto, las zarzamoras (*Rubus* spp.) representan una opción valiosa. Los diversos métodos de procesamiento empleados en *Rubus* spp., como la liofilización, el secado por aire caliente y la extracción y microencapsulación de sus compuestos bioactivos y volátiles, permiten preservar y concentrar sus compuestos bioactivos, mejorando su biodisponibilidad y efectividad.

3. Estos métodos no sólo optimizan el aprovechamiento de los nutrientes, sino que también contribuyen a la economía circular y al desarrollo sustentable y sostenible, al reducir los desechos hortofrutícolas y reutilizar productos que no cumplen con los estándares de calidad.

4. Las zarzamoras son altamente valoradas por su sabor atractivo y por su alto contenido de algunas vitaminas, compuestos orgánicos e inorgánicos. Estos frutos contienen polifenoles, antocianinas y otros compuestos bioactivos que ofrecen efectos beneficiosos para la salud humana, como propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas y anticancerígenas. Además, su consumo regular puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, metabólicas y neurodegenerativas. Por todo ello, el aprovechamiento de las zarzamoras y sus residuos mejora la salud pública mediante la oferta de alimentos funcionales y promueve prácticas sostenibles y responsables en la industria alimentaria.

Perspectivas a futuro

Se espera que la investigación continúe avanzando en el desarrollo de métodos de

procesamiento más eficientes y sostenibles para *Rubus* spp. Esto incluye la optimización de técnicas como la liofilización, la extracción asistida por ultrasonido y la encapsulación, con el objetivo de maximizar la conservación de compuestos bioactivos y mejorar su biodisponibilidad.

La incorporación de extractos de *Rubus* spp. en una variedad de productos alimenticios, como bebidas funcionales, suplementos dietéticos y alimentos fortificados, podría expandirse significativamente. Esto no sólo mejoraría el perfil nutricional de estos productos, sino que también ofrecería beneficios adicionales para la salud, como propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

La implementación de prácticas de economía circular en la gestión de residuos de *Rubus* spp. podría reducir significativamente el desperdicio hortofrutícola. Esto incluye la reutilización de subproductos para la producción de biogás, biofertilizantes y otros materiales valiosos, contribuyendo a un desarrollo más sostenible y responsable.

Se anticipa un aumento en los estudios clínicos que investiguen los efectos específicos de los compuestos bioactivos de *Rubus* spp. en la salud humana. Esto podría incluir investigaciones sobre su impacto en enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y metabólicas, así como su potencial uso en terapias antineoplásicas.

Asimismo, la diversificación de productos derivados de *Rubus* spp., como cosméticos naturales, productos farmacéuticos y nutraceuticos, podría abrir nuevas oportunidades de mercado. Estos productos aprovecharían las propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias de los compuestos bioactivos presentes en las zarzamoras y frambuesas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Guadalajara, al Centro Universitario de

Ciencias Exactas e Ingenierías y al Programa de Investigación Delfín por brindar los recursos humanos de alto valor necesarios para la elaboración de este trabajo de investigación bibliográfica, expuesto a manera de un artículo de revisión narrativa.

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento de ningún tipo para la realización de este trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores se declaran libres de conflicto de interés.

Descargo de responsabilidad

Los distintos usos que se hagan de la información expuesta en este artículo no son responsabilidad de los autores ni de la revista, ya que en diversas ocasiones la información sobre los compuestos bioactivos aquí mostrados es de carácter experimental y/o preclínico (*in vitro* o *in vivo*), debido a que mucha de ella aún requiere efectuar ensayos clínicos rigurosos. Es responsabilidad del lector informarse con su médico o algún profesional sanitario competente previo al uso de cualquier molécula aquí expuesta.

Referencias

- Aguilera-Correa, J. J., Nohynek, L., Alakomi, H.-L., Esteban, J., Oksman-Caldentey, K.-M., Puupponen-Pimiä, R., Kinnari, T. J., & Perez-Tanoira, R. (2023). Reduction of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilm growth and development using arctic berry extracts. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1176755>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Ascencio Arteaga, A. (2022). *Efecto de películas comestibles sobre la vida de anaquel y calidad de frutos de zarzamora*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio DSpace. <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/30525>
- Barbieri, F., Montanari, C., Šimat, V., Skroza, D., Čagalj, M., Smole-Možina, S., Bassi, D., Gardini, F., & Tabanelli, G. (2022). Effects of *Rubus fruticosus* and *Juniperus oxycedrus* derivatives on culturability and viability of *Listeria monocytogenes*. *Scientific Reports*, 12, 13158. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17408-4>
- Barkaoui, S., Madureira, J., Boudhrioua, N., & Cabo Verde, S. (2023). Berries: Effects on health, preservation methods, and uses in functional foods: a review. *European Food Research and Technology*, 249, 1689–1715. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04257-2>
- Brunner, P. H., & Morf, L. S. (2025). Waste to energy, indispensable cornerstone for circular economy: A mini-review. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association*, 43(1), 26–38. <https://doi.org/10.1177/0734242X241227376>
- Burgalia Osorio, M. (2021). El diseño como estrategia de circularidad en el aprovechamiento de residuos agroindustriales. *Designia*, 8(2), 131–151. <https://doi.org/10.24267/22564004.634>
- Carbajal Núñez, I. (2021). *Fermentados de zarzamora como atrayentes de Drosophila suzukii Matsumura (Diptera: Drosophilidae)*. [Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio DSpace <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4244547>
- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–21. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1892
- Castañeda-Cardona, C. C., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Solís, J., Barrientos-Priego, A. F., Peña-Ortega, M. G., & Morillo-Coronado, Y. (2024). Potencial nutracéutico de frutos de especies silvestres de zarzamora y frambuesa. *Revista fitotecnica mexicana*, 47(1), 11–17. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.11>

- Chamberlain, L. K., Scott, H., Beddoe, N., & Rintoul-Hynes, N. L. J. (2024). Heavy metal contamination (Cu, Pb, and Cd) of washed and unwashed roadside blackberries (*Rubus fruticosus* L.). *Integrated Environmental Assessment and Management*, 20(6), 2107–2115. <https://doi.org/10.1002/ieam.4981>
- Cuesta-Riaño, C. S., Castro-Guascaa, M. P., & Tarazona-Díaz, M. P. (2022). Anthocyanin Extract from Blackberry Used as an Indicator of Hydrogen Potential. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 224–234. <https://doi.org/10.1080/15538362.2022.2037036>
- De la Asunción-Romero, R., Jiménez-Elizondo, N., & Morales-Herrera, I. (2024). Effects of postharvest abiotic stress on the accumulation of bioactive compounds. *Agronomía Mesoamericana*, 35(SPE1), 60233. <https://doi.org/10.15517/am.2024.60233>
- De la Rosa, R., X.F., García, L., I., Hernández, M., J., Morales, B. J., Quiroz, V.J. D. C. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 155–163. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>
- Delgadillo Ramírez, A. A. (2015). *Determinación de la composición química, propiedades antioxidantes y físicas de la zarzamora (Rubus sp.) y del residuo de su procesamiento* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. UAEH Biblioteca Digital. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/5241>
- Ebrahimi, P., & Lante, A. (2021). *Polyphenols: A Comprehensive Review of their Nutritional Properties*, 15, 164-172. <https://doi.org/10.2174/1874070702115010164>
- Eminoğlu, M. B., Yegül, U., & Sacilik, K. (2019). *Drying Characteristics of Blackberry Fruits in a Convective Hot-air Dryer*, 54(9), 1546-1550. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14201-19>
- Espada-Bellido, E., Ferreira-González, M., Carrera, C., Palma, M., Álvarez, J. A., Barbero, G. F., & Ayuso, J. (2019). Extraction of Antioxidants from Blackberry (*Rubus ulmifolius* L.): Comparison between Ultrasound- and Microwave-Assisted Extraction Techniques. *Agronomy*, 9(11), 745. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110745>
- Estrada-Reyes, R., Ubaldo-Suárez, D., & Araujo-Escalona, A. G. (2012). Los flavonoides y el Sistema Nervioso Central. *Salud mental*, 35(5), 375–384. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252012000500004
- Felipe-Mendoza, N. A., Martínez-Hernández, M. de J., Ramírez-Benítez, M. del C., Hernández-González, K. D., Molina-Torres, J., Torres-Pelayo, V. del R. & Alvarado-Olivarez, M. (2023). Flavonoides, antocianinas y macronutrientes totales en productos artesanales de zarzamora (*Rubus* sp.) de Atecáxil, Veracruz, México. *Polibotánica*, 56(28), 183–201. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.10>
- Ferrari, C. C., Germer, S. P. M., & de Aguirre, J. M. (2011). Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology*, 30(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628429>
- Franck, M., de Toro-Martín, J., Garneau, V., Guay, V., Kearney, M., Pilon, G., Roy, D., Couture, P., Couillard, C., Marette, A., & Vohl, M.-C. (2020). Effects of Daily Raspberry Consumption on Immune-Metabolic Health in Subjects at Risk of Metabolic Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 12(12), 3858. <https://doi.org/10.3390/nu12123858>
- Fredes, C., Moya, J. L., Jara, M., & Reyes-Jara, A. (2023). Reducción, reutilización y reciclaje: Una revisión crítica del conocimiento científico sobre las pérdidas y desperdicios de alimentos en Chile. *Revista chilena de nutrición*, 50(3), 332–347. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182023000300332>
- Gil-Martínez, L., Mut-Salud, N., Ruiz-García, J. A., Falcón-Piñeiro, A., Maijó-Ferré, M., Baños, A., De la Torre-Ramírez, J. M., Guillamón, E., Verardo, V., & Gómez-Caravaca, A. M. (2023). Phytochemicals Determination, and Antioxidant, Antimicrobial, Anti-Inflammatory and Anticancer Activities of Blackberry Fruits. *Foods*, 12(7), 1505. <https://doi.org/10.3390/foods12071505>
- Grandez Yoplac, D. E. (2021). *Cinética de degradación de las antocianinas en el secado de la cáscara de berries*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2300>

- Güemes-Vera, N., Ríos-Pérez, F., Soto Simental, S., Quintero Lira, A., & Piloni Martini, J. (2020). Harina de cáscara de vaina de cacao: Una opción para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 6(11), 5-7. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i11.5322>
- Henrotin, Y., Cozannet, R. L., Fañca-Berthon, P., Truillet, R., Cohen-Solhal, M., DunnGalvin, G., Grouin, J.-M., & Doolan, A. (2022). Rubus idaeus extract improves symptoms in knee osteoarthritis patients: Results from a phase II double-blind randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 650. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05612-2>
- Hua, Z., Bian, Y., Lu, F., Liu, S., Ma, W., Chen, T., Feng, J., Xia, Y., & Fang, Y. (2025). Changes in antioxidant and flavor profiles of raspberry, blackberry, and mulberry juices fermented by urolithin A-producing *Limosilactobacillus fermentum* FUA033. *Food Bioscience*, 65, 106131. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106131>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (25 de febrero de 2025). *Estadísticas de Defunciones Registradas (EDR)*. Información demográfica y social. Recuperado el 26 de febrero de 2025 de <https://www.inegi.org.mx/programas/edr/>
- Jung, S.-J., Park, E.-O., Chae, S.-W., Lee, S.-O., Kwon, J.-W., You, J.-H., & Kim, Y.-G. (2023). Effects of Unripe Black Raspberry Extract Supplementation on Male Climacteric Syndrome and Voiding Dysfunction: A Pilot, Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*, 15(15), 3313. <https://doi.org/10.3390/nu15153313>
- Karaklajic-Stajic, Z., Tomic, J., Pesakovic, M., Paunovic, S. M., Stampar, F., Mikulic-Petkovsek, M., Grohar, M. C., Hudina, M., & Jakopic, J. (2023). Black Queens of Fruits: Chemical Composition of Blackberry (*Rubus* subg. *rubus* Watson) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Cultivars Selected in Serbia. *Foods*, 12(14), 2775. <https://doi.org/10.3390/foods12142775>
- Knorr, D., & Augustin, M. A. (2025). Expanding our food supply: Underutilized resources and resilient processing technologies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(2), 735–746. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13740>
- Kocabas, S., & Sanlier, N. (2024). The power of berries against cardiovascular diseases. *Nutrition Reviews*, 82(7), 963–977. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad111>
- Kopjar, M., Buljeta, I., Nosić, M., Ivić, I., Šimunović, J., & Pichler, A. (2022). Encapsulation of Blackberry Phenolics and Volatiles Using Apple Fibers and Disaccharides. *Polymers*, 14(11), 2179. <https://doi.org/10.3390/polym14112179>
- Leite-Oliveira, N., Silveira-Alexandre, A. C., Henrique-Silva, S., de Abreu-Figueiredo, J., Aparecida-Rodrigues, A., & Vilela-de Resende, J. (2023). Drying efficiency and quality preservation of blackberries (*Rubus* spp. variety Tupy) in the near and mid-infrared-assisted freeze-drying. *Food Chemistry Advances*, 3, 100550. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100550>
- Lugo-Zarate, L., Delgado-Olivares, L., Cruz-Cansino, N. D. S., González-Olivares, L. G., Castrejón-Jiménez, N. S., Estrada-Luna, D., & Jiménez-Osorio, A. S. (2024). Blackberry Juice Fermented with Two Consortia of Lactic Acid Bacteria and Isolated Whey: Physicochemical and Antioxidant Properties during Storage. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16), 8882. <https://doi.org/10.3390/ijms25168882>
- Martínez, C. J. E., Melo, S.D. V., Carbajal, V.I.A., & Torres, P.I. (2022). Efecto de tratamientos precosecha en la reversión y contenido de antocianinas del fruto de zarzamora (*Rubus* sp.). *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 5(9), 11-18. <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/921>
- Martini, D., Marino, M., & Del Bo', C. (2023). Berries and Human Health: Mechanisms and Evidence. *Nutrients*, 15(11), 2527. <https://doi.org/10.3390/nu15112527>
- Meléndez-Sosa, M. F., García-Barrales, A. M., & Ventura-García, N. A. (2020). Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutraceuticos en México. *RD-ICUAP*, 6(1), 114-136. <http://www.apps.buap.mx/ojs3/index.php/rdicuap/article/view/1745>
- Méndez Castillo, M., Torres Zapata, A., Acuña Lara, J., Moguel Ceballos, J. (2020). Alimentos funcionales, bases conceptuales y su aplicación en el diseño de planes de alimentación. *Biociencias*,

- 15(1), 1-14.
<https://revistas.uax.es/index.php/biociencia/article/view/1283>
- Miranda, J. J., & Zavaleta-Cortijo, C. (2023). The food crisis in the context of climate change and sustainable development goals. *Revista Peruana De Medicina Experimental Y Salud Publica*, 40(4), 392–394.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2023.404.13553>
- Molina-Guerrero, C. E., Sanchez, A., & Vázquez-Núñez, E. (2020). Energy potential of agricultural residues generated in Mexico and their use for butanol and electricity production under a biorefinery configuration. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27 28607–28622.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08430-y>
- Morfín-Magaña, R., Pulido-Toro, E., Corona-Soto, M. D. J., Mendoza-Ballines, L. B., & Topete-Betancourt, K. C. (2023). Análisis del sistema de medición por atributos en la inspección de calidad para zarzamoras. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24(3), 1–7.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.3.018>
- Muniyandi, K., George, E., Sathyanarayanan, S., George, B. P., Abrahamse, H., Thamburaj, S., & Thangaraj, P. (2019). Phenolics, tannins, flavonoids and anthocyanins contents influenced antioxidant and anticancer activities of Rubus fruits from Western Ghats, India. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 73–81.
<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.005>
- Olivero-Verbel, J., Quintero-Rincón, P., & Caballero-Gallardo, K. (2024). Aromatic plants as cosmeceuticals: Benefits and applications for skin health. *Planta*, 260, 132.
<https://doi.org/10.1007/s00425-024-04550-8>
- Padilla-Bernal, L. E., Lara-Herrera, A., & Vélez-Rodríguez, A. (2020). Sustentabilidad y desempeño ambiental de la agricultura protegida: El caso de Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 289–302.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1766>
- Pang, L., Li, R., Chen, C., Huang, Z., Zhang, W., Man, C., Yang, X., & Jiang, Y. (2025). Combined processing technologies: Promising approaches for reducing Allergenicity of food allergens. *Food Chemistry*, 463(Part 4), 141559.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141559>
- Quispe Limaylla, A. (2015). El valor potencial de los residuos sólidos orgánicos, rurales y urbanos para la sostenibilidad de la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(1), 83–95.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100008
- Ramírez Lagunas, K. A., Vargas Moreno, I., Herrera Meza, S., Rodríguez Landa, J. F., Puga Olguín, A., & Fernández Demeneghi, R. (2022). Efecto del jugo de zarzamora sobre los patrones conductuales de nado y el número de neuronas en la región cg1 de Ratas Wistar. *UVserva*, 13, 121–230.
<https://doi.org/10.25009/uvs.vi13.2821>
- Rattanawiwatpong, P., Wanitphakdeedecha, R., Bumrungrert, A., & Maiprasert, M. (2020). Anti-aging and brightening effects of a topical treatment containing vitamin C, vitamin E, and raspberry leaf cell culture extract: A split-face, randomized controlled trial. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(3), 671–676.
<https://doi.org/10.1111/jocd.13305>
- Ravichandran, K. S., & Krishnaswamy, K. (2023). Sustainable food processing of selected North American native berries to support agroforestry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(20), 4235–4260.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1999901>
- Reyes-Portillo, K. A., Soto-Simental, S., Hernández-Sánchez, H., Quintero-Lira, A., & Piloni-Martini, J. (2020). Alimentos funcionales a partir de calostro bovino. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 6(12), 9–11.
<https://doi.org/10.29057/icap.v6i12.5924>
- Robati, R., Mirahmadinejad, E., & Ghasemi, F. (2023). Bio-ethanol Production from Strawberry by *Saccharomyces cerevisiae* in Repeated Batch Abstract. *Asian Food Science Journal*, 22(9), 113–116.
<https://doi.org/10.9734/afsj/2023/v22i9662>
- Robbins, R. J., & Bean, S. R. (2004). Development of a quantitative high-performance liquid chromatography-photodiode array detection measurement system for phenolic acids. *Journal of Chromatography A*, 1038(1–2), 97–105.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.03.009>

- Robinson, J. A., Bierwirth, J. E., Greenspan, P., & Pegg, R. B. (2020). Blackberry polyphenols: Composition, quantity, and health impacts from *in vitro* and *in vivo* studies. *Journal of Food Bioactives*, 9, 40-51. <https://doi.org/10.31665/JFB.2020.9217>
- Rodríguez-Bautista, G., Segura Ledesma, S. D., Cruz-Izquierdo, S., López-Medina, J., Gutierrez-Espinosa, A., Cruz-Huerta, N., Carrillo-Salazar, J., & Valenzuela Núñez, L. M. (2019). Distribución y variabilidad morfológica de especies de zarzamoras en México (*Rubus* spp L.). *Biotecnia*, 21(2), 97-105. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i2.935>
- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., & López-Rodríguez, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 31–52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-54212019000100031&lng=es&nrm=iso
- Rubio Ochoa, E., Pérez Sánchez, R.E., Ávila Val, T. C., Gómez Leyva, J. F., García Saucedo, P. A., (2019). Propiedades fisicoquímicas de frutos silvestres de *Rubus* con potencial nutracéutico y alimenticio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (23), 291–301. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2028>
- Salah-Eldin, A. A., Ibrahim, H. H., & Ali, M. R. (2024). Antimicrobial and therapeutic potentials of the blackberry extracts against *Escherichia coli* infection in male albino rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(13), 7776–7787. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13572>
- Sánchez-Pasos, D., Montoya, C. J., Bazán-Rodríguez, J., Gutierrez-Magan, C., & Rojas, M. L. (2022). Effect of Drying by Lyophilization and Atomization on the Characteristics and Properties of Fruit Powders: A Systematic Review. *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions”*. (1-9). <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.104>
- Santeramo, F. G. (2022). Circular and green economy: The state-of-the-art. *Heliyon*, 8(4), e09297. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09297>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (05 de noviembre de 2021). *Zarzamora, la frutilla número uno de México*. Gobierno de México. <http://www.gob.mx/agricultura/articulos/zarzamora-la-frutilla-numero-uno-de-mexico>
- Secretaría de Economía. (2017). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- Fruta fresca- Zarzamora (*Rubus* spp.)- Especificaciones y métodos de prueba* (NMX-FF-129-SCFI-2016). https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5490424
- Solverson, P. M., Rumpler, W. V., Leger, J. L., Redan, B. W., Ferruzzi, M. G., Baer, D. J., Castonguay, T. W., & Novotny, J. A. (2018). Blackberry Feeding Increases Fat Oxidation and Improves Insulin Sensitivity in Overweight and Obese Males. *Nutrients*, 10(8), 1048. <https://doi.org/10.3390/nu10081048>
- Staszowska-Karkut, M., & Materska, M. (2020). Phenolic Composition, Mineral Content, and Beneficial Bioactivities of Leaf Extracts from Black Currant (*Ribes nigrum* L.), Raspberry (*Rubus idaeus*), and Aronia (*Aronia melanocarpa*). *Nutrients*, 12(2), 463. <https://doi.org/10.3390/nu12020463>
- Thorakkattu, P., Jain, S., Sivapragasam, N., Maurya, A., Tiwari, S., Dwivedy, A. K., Koirala, P., & Nirmal, N. (2025). Edible Berries-An Update on Nutritional Composition and Health Benefits-Part II. *Current Nutrition Reports*, 14, 10. <https://doi.org/10.1007/s13668-024-00608-x>
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Tzima, K., Putsakum, G., & Rai, D. K. (2023). Antioxidant Guided Fractionation of Blackberry Polyphenols Show Synergistic Role of Catechins and Ellagitannins. *Molecules*, 28(4), 1933. <https://doi.org/10.3390/molecules28041933>
- Valencia Sullca, C. E., & Guevara Pérez, A. (2013). Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(2),

116–125.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200004

Vega-Castro, O., Vargas-Marulanda, D., Castro-Tobón, S., Vallejo-Marulanda, L., Vanegas-Arboleda, V., Henao-González, D., & Gómez-Narváez, F. (2024). Exploring the Potential of Spray-Dried Blackberry Powder Enriched with Zinc and Folic Acid as a Nutritional Alternative for Children and Pregnant Women. *Food Biophysics*, 20, 11. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09892-0>

Wang, G., Guan, S. L., Zhu, N., Li, Q., Chong, X., Wang, T., & Xuan, J. (2023). Comprehensive Genomic Analysis of SnRK in Rosaceae and Expression Analysis of RoSnRK2 in Response to Abiotic Stress in *Rubus occidentalis*. *Plants*, 12(9), 1784. <https://doi.org/10.3390/plants12091784>

Whyte, A. R., Cheng, N., Butler, L. T., Lampion, D. J., & Williams, C. M. (2019). Flavonoid-Rich Mixed Berries Maintain and Improve Cognitive Function Over a 6 h Period in Young Healthy Adults. *Nutrients*, 11(11), 2685. <https://doi.org/10.3390/nu11112685>

Xiong, X., Liu, Z., Che, X., Zhang, X., Li, X., & Gao, W. (2024). Chemical composition, pharmacological activity and development strategies of *Rubus chingii*: A review. *Chinese Herbal Medicines*, 16(3), 313–326. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2024.01.007>

Yamashita, C., Song, C. M. M., dos Santos, C., Malacrida, M., C. R., Freitas, M., I. C., & Branco, I. G. (2017). Microencapsulación de un extracto de subproducto de mora (*Rubus* spp.) rico en antocianinas mediante liofilización. *LWT*, 84, 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.063>

Ye, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Wei, W., Cheng, D., Bui, X. T., Hoang, N. B., & Zhang, H. (2024). Biofuel production for circular bioeconomy: Present scenario and future scope. *Science of the Total Environment*, 935, 172863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172863>

Zafra Rojas, Q. Y. (2019). Valorización de los subproductos del procesamiento de la zarzamora (*Rubus fruticosus*), por su contenido en antioxidantes y fibra dietética. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de

Hidalgo]. UAEH Biblioteca Digital. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2675>

Zhang, X., Zhao, A., Sandhu, A. K., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2022). Red Raspberry and Fructo-Oligosaccharide Supplementation, Metabolic Biomarkers, and the Gut Microbiota in Adults with Prediabetes: A Randomized Crossover Clinical Trial. *The Journal of Nutrition*, 152(6), 1438–1449. <https://doi.org/10.1093/jn/nxac037>

Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H. Z. E., & Moga, M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: Constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*, 19(8), 10998–11029. <https://doi.org/10.3390/molecules190810998>