


Potencial bioactivo de los residuos del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en Costa Rica

Bioactive potential of strawberry crop residues (*Fragaria x ananassa*) in Costa Rica

Karla Melissa Salas-Arias¹ 

Bridget Salas-Morgan² 

Laura A. Calvo-Castro³ 

¹Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica. Universidad Nacional. Universidad Estatal a Distancia. ✉ ksalas@itcr.ac.cr

²Instituto Tecnológico de Costa Rica, ✉ bridgetsalasm@gmail.com

³Instituto Tecnológico de Costa Rica ✉ ancalvo@itcr.ac.cr

Recibido: 13/06/2022 Aceptado: 16/06/2022

Resumen El fruto de la fresa (*Fragaria x ananassa*) es un alimento ampliamente consumido a nivel mundial, y al cual se le han atribuido una amplia gama de propiedades beneficiosas para la salud humana, mayoritariamente asociadas a su potencial antioxidante. La búsqueda de fitoquímicos bioactivos en la fresa se ha enfocado en el fruto, mientras que el perfil bioquímico de las hojas ha sido poco estudiado y sigue siendo poco aprovechado, a pesar de constituir una fuente potencial de metabolitos bioactivos que podrían ser utilizados en la formulación de productos para el sector alimenticio, industrial y farmacéutico. Además, se ha reportado mayor contenido de polifenoles bioactivos en las hojas de fresa que en el fruto, y las hojas de fresa podrían ser una fuente importante de ácido elálgico, un compuesto antioxidante bioactivo poco abundante en la dieta humana pero de gran potencial biomédico. Este artículo de revisión bibliográfica tiene como objetivo evaluar las características del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en Costa Rica, con miras al aprovechamiento integral de los residuos agroindustriales de este cultivo. La información consultada demostró que la comercialización del cultivo de fresa se enfoca en el fruto, mientras que las hojas y el resto del material vegetativo de la planta se descartan periódicamente, y podrían ser incorporados en nuevas cadenas productivas. Este tipo de estrategias son de especial importancia para países pequeños en desarrollo y con economías de base agrícola, para mejorar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y darles un mayor valor agregado a los cultivos, en beneficio del ambiente y la salud humana.

Palabras clave: economía circular, fresa, hoja, polifenoles, agroindustria.

Abstract Strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*) is a widely consumed food worldwide and has been characterized to have a wide range of beneficial properties for human health, mostly associated with its antioxidant potential. The search for bioactive phytochemicals in strawberry has focused mainly on the fruit, while the biochemical profile of the leaves has been little studied and continues to be underutilized, despite being a potential source of bioactive metabolites that could be used in the formulation of food, industrial and pharmaceutical products. In addition, higher bioactive polyphenol content has been reported in strawberry leaves than in the fruit, and strawberry leaves could also be an important source of ellagic acid, a bioactive antioxidant compound, which is limited in the human diet but has great biomedical potential. This literature review aims to evaluate the information available on the characteristics of strawberry crops (*Fragaria x ananassa*) in Costa Rica, targeting towards the comprehensive use of the agro-industrial residues of this plant. The information reviewed confirmed that the commercialization of strawberry cultivation focuses on the fruit, while the leaves and the rest of the plant's vegetative material are discarded periodically, but could be incorporated into new production chains. Such strategies are especially important for small developing countries with agricultural-based economies, to improve the use of agro-industrial waste and provide added value to crops, aiding both the environment and human health.

Keywords: circular economy, strawberry, leaf, polyphenols, agroindustry.

Introducción

Las economías circulares buscan optimizar el uso de los recursos, extender su vida útil y minimizar la generación de residuos. Esto se hace a través de criterios de reutilización, re-fabricación, reciclaje y revalorización de residuos en nuevos procesos productivos (Toop *et al.*, 2017). La recuperación de fitoquímicos bioactivos a partir de desechos agroindustriales ofrece la posibilidad de convertirlos en ingredientes naturales innovadores de alto valor, que pueden ser incorporados en diversas cadenas productivas.

Diversos estudios han demostrado el potencial antioxidante y los beneficios de la fresa (*Fragaria x ananassa*) para la salud humana (Afrin *et al.*, 2016; Basu *et al.*, 2014; Fierascu, *et al.*, 2020; Forbes-Hernandez *et al.*, 2016; Giampieri *et al.*, 2017, 2015; Golovinskaia y Wang, 2021; Miller *et al.*, 2019). Sin embargo, la búsqueda de fitoquímicos bioactivos en la fresa se ha enfocado mayoritariamente en el fruto, mientras que el perfil fitoactivo de sus hojas ha sido poco estudiado, a pesar de que se ha evidenciado que las hojas de las fresas son más ricas en compuestos polifenólicos bioactivos que la pulpa del fruto (Kårlund *et al.*, 2017, 2014; Michalska *et al.*, 2017).

Aunado a esto, en el cultivo tradicional de fresa, la sección vegetativa se descarta de forma periódica, con lo que se desaprovecha materia prima de alto potencial biotecnológico (Barquero *et al.*, 2007; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2017; Sato *et al.*, 2019). Por lo tanto, esta revisión bibliográfica se enfoca en describir las características del cultivo de fresa en Costa Rica, con miras al aprovechamiento integral del potencial bioactivo de sus residuos vegetativos.

Metodología

Para esta revisión exhaustiva de literatura, se utilizaron los motores de búsqueda Google Académico, Pubmed, y Science Direct. Los

términos de búsqueda (en inglés) fueron “fresa”, “*Fragaria*”, “*Fragaria x ananassa*”, “hoja”, “polifenoles”, “extractos”, y “residuos”. Se seleccionaron las publicaciones de los últimos 10 años, y se amplió el período de búsqueda para algunos contenidos específicos relevantes (“descripción botánica”, “cultivo”, “Costa Rica”). Se excluyeron las publicaciones en idiomas distintos al inglés y español, los reportes de otras especies de fresa (excepto algunas menciones relevantes respecto a *Fragaria vesca*), y los documentos de enfoque estrictamente microbiológico, fitopatológico, y genético. Del total de 180 publicaciones científicas o técnicas compiladas, se seleccionaron los 78 documentos consultados en esta revisión.

La literatura fue administrada mediante Mendeley. Para la comparación del contenido de polifenoles en variedades de *Fragaria x ananassa* se consideraron solamente las variedades más relevantes para Costa Rica.

Las estadísticas respecto a la producción mundial de fresa se consultaron en FAOStat. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021), en la sección de “cultivos y productos de ganadería”, con los criterios de búsqueda “todos los países”, “producción-cantidad”, “fresa-cultivos primarios”, y “2020”. El porcentaje de producción de los países mencionados en este artículo se calculó respecto al total mundial.

Resultados y discusión

Cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*): Descripción botánica

El género *Fragaria* (familia *Rosaceae*) incluye más de 20 especies distribuidas en todo el mundo, que pueden ser diploides, tetraploides, hexaploides y octaploides, a partir de un genoma haploide de 7 cromosomas (Palei *et al.*, 2015; Staudt, 1999, 2009). Las plantas de fresa (Figura 1) se reproducen asexualmente mediante estolones o apomixis, o sexualmente por autogamia o alogamia (Marta *et al.*, 2004).

Las especies diploides suelen ser autoincompatibles, mientras que las poliploides pueden ser autofecundables (Marta *et al.*, 2004). Algunos autores separan las variedades de fresa en tipos de día-largo, día-corto, o día-neutral.

Sin embargo, esta clasificación no debe ser considerada estándar, ya que no solamente el fotoperíodo influye en el crecimiento vegetativo y la floración, sino que también intervienen otros factores tales como humedad y temperatura (Massetani *et al.*, 2011; Warner *et al.*, 2021).

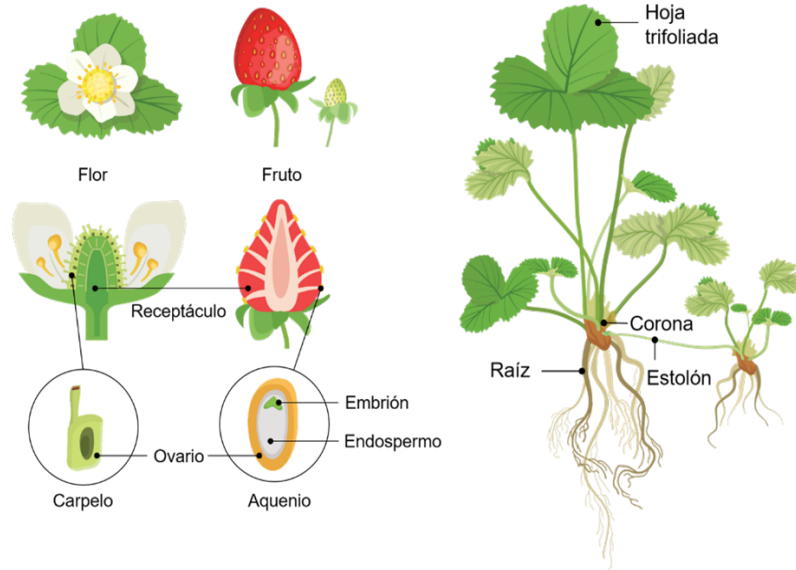


Figura 1

Principales estructuras anatómicas de la planta de fresa

Nota. Adaptado de la descripción de Liu *et al.* (2020) y Demchak (2013).

Hojas y tallo. La fresa moderna cultivada (*Fragaria x ananassa* Duchene, $2n = 8x = 56$) es una planta perenne, herbácea, con tallos rastreros, y hojas trifoliadas (Liston *et al.*, 2014; Staudt, 1999). Las plantas de fresa presentan un tallo comprimido (corona) a partir del cual crecen (en forma de roseta) las hojas, estolones, inflorescencias y nuevas coronas (Demchak, 2013). La propagación vegetativa ocurre a partir de los estolones (Demchak, 2013).

Flor. Las especies de la familia *Rosaceae* usualmente presentan flores con cinco sépalos, cinco pétalos y numerosos estambres (Liu *et al.*, 2020). En la fresa, los pétalos rodean de 20 a 35 estambres, cada uno conformados por un filamento y una antera (Demchak, 2013). La flor es una inflorescencia, compuesta por un tallo engrosado llamado receptáculo (Liu *et al.*, 2020), el cual está cubierto por hasta

500 pistilos, en cuyas bases se encuentran los ovarios (Demchak, 2013). La inflorescencia crece en el extremo apical de la corona de hojas, y la floración es inducida principalmente al aumentar la temperatura (entre 15 °C y 30 °C), con influencia del fotoperíodo (Massetani *et al.*, 2011). Las inflorescencias de *F. x ananassa* son cimbras, con flores hermafroditas, de simetría radial con cinco o seis pétalos, usualmente de color blanco con posibles tonos color rosa (Liston *et al.*, 2014; Staudt, 1999).

Fruto. La parte carnosa del fruto de fresa surge del engrosamiento del receptáculo floral, mientras que los múltiples carpelos se convierten en achenios secos, que contienen el embrión (Liu *et al.*, 2020). Por ello, no es una verdadera baya, sino un agregado accesorio, donde las semillas (de aproximadamente 1 mm de largo) son el verdadero fruto de la

especie (Fait *et al.*, 2008; Demchak, 2013). Cada receptáculo diferenciado contiene varios centenares de semillas (aquenios), embebidas en su epidermis (Fait *et al.*, 2008). El desarrollo es principalmente inducido por la liberación de auxinas desde los aquenios fecundados (Fait *et al.*, 2008).

Sistema Radicular. Las plantas de fresa tienen un sistema radicular fibroso y relativamente superficial (entre 15 a 30 cm de profundidad), por lo cual requieren ser protegidas de la desecación (Demchak, 2013).

Variedades. Existen numerosas variedades de fresa que se cultivan a nivel mundial. En Costa Rica (Tabla 1), la más cultivada reportada para el 2007 fue Oso Grande (Barquero *et al.*, 2007). Sin embargo, según el Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria-Fresa de Costa Rica [PITTA-Fresa] (2022), las variedades más cultivadas

actualmente en el país son San Andreas (53%), Festival (26%), Albi3n (23%), Oso Grande (3%), Cabrillo (2%), Portola (1%), Rubillen (1%) y Real (1%). Tambi3n se ha reportado en Costa Rica el cultivo de Camino Real, Elyana (IICA, 2017), Tioga, Douglas, Chandler, Brighton, y Selva (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica [MAG],2014). Se refleja la gran variabilidad y flexibilidad de opciones del cultivo.

Cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*): Aspectos agron3micos

La fresa moderna comercial (*F. x ananassa*) est3 adaptada para el cultivo en m3ltiples condiciones agr3colas y clim3ticas, aunque principalmente se produce en clima templado y subtropical, con temperaturas id3neas de 22 3C a 25 3C durante el d3a, y de 7 3C a 13 3C durante la noche (Saroj *et al.*, 2021). La floraci3n se inhibe a temperaturas superiores a los 26 3C; por lo tanto, en las regiones tropicales, el cultivo de la fresa s3lo es viable comercialmente en zonas altas m3s fr3as (Warner *et al.*, 2021).

Tabla 1

*Contenido de az3cares y polifenoles reportados en el fruto de variedades de fresa (*Fragaria x ananassa*) de inter3s comercial para Costa Rica*

Par3metro ^a	Tioga	Douglas	Chandler	Selva	Festival	Albi3n	San Andreas	Oso Grande	Elyana	Camino Real	Referencia
Az3cares											
Totales (%)	5,07	5,8	6,62	6,50	7,25 ± 0,33	-	-	-	6,70	7,65 ± 0,07	(Kumari <i>et al.</i> ,2020; Nunes <i>et al.</i> , 2021; Ur3n <i>et al.</i> , 2021)
Totales (mg g ⁻¹)	-	-	4,25 ± 1,96		11,03 ± 1,97	16,15 - 42,42	40,56	47,2 - 58,8	-	-	(Cordenunsi <i>et al.</i> , 2003; Paporozzi <i>et al.</i> , 2018; Ruan <i>et al.</i> , 2013)b
Glucosa (g 100 g ⁻¹)	-	-	-	1,55	1,6	1,99 - 15,51	2,7 - 14,42	1,7	1,84	-	(Oguz <i>et al.</i> , 2017; Ornelas-Paz <i>et al.</i> , 2013; Pinheiro <i>et al.</i> , 2021; Ruan <i>et al.</i> , 2013)
Fructosa (g 100 g ⁻¹)	-	-	-	1,95	1,6	2,18 - 19,18	3,7 - 17,43	1,3	2,15	-	(Oguz <i>et al.</i> , 2017; Ornelas-Paz <i>et al.</i> , 2013; Pinheiro <i>et al.</i> , 2021; Ruan <i>et al.</i> , 2013)

Parámetro	Tioga	Douglas	Chandler	Selva	Festival	Albi3n	San Andreas	Oso Grande	Elyana	Camino Real	Referencia
Sacarosa (g 100 g⁻¹)	-	-	-	-	-	1,89 – 7,73	8,71	-	1,02	-	(Oguz <i>et al.</i> , 2017; Ruan <i>et al.</i> , 2013)
Polifenoles totales (mg EAG g⁻¹)	-	0,77	1,67 ± 0,15	0,92 – 1,36	0,91 – 3,11	1,10 – 2,88	2,57 – 3,15	3,24	-	1,40 ± 0,00	(Kobi <i>et al.</i> , 2018; Lema- Rumińska <i>et al.</i> , 2021; Nunes <i>et al.</i> , 2021; Ornelas-Paz <i>et al.</i> , 2013; Paparozzi <i>et al.</i> , 2018; Pinheiro <i>et al.</i> , 2021; Singh <i>et al.</i> , 2011; Urün <i>et al.</i> , 2021)
Flavonoides											
(mg EC g ⁻¹)	-	-	0,58 ± 0,07	-	0,36 ± 0,07	0,44 ± 0,07	-	-	-	-	(Paparozzi <i>et al.</i> , 2018; Pinheiro <i>et al.</i> , 2021)
(mg EQ g ⁻¹)	-	-	-	-	2,32	1,56	2,09	1,64	-	-	
Antocianinas											(Carvalho <i>et al.</i> , 2021; Chaves <i>et al.</i> , 2017; Kobi <i>et al.</i> , 2018; Lema- Rumińska <i>et al.</i> , 2021; Nunes <i>et al.</i> , 2021; Nunes <i>et al.</i> , 2005; Singh <i>et al.</i> , 2011)
(mg ECG g ⁻¹)	-	0,57	1,04	0,65	0,99	0,16 – 0,62	-	-	-	0,22 ± 0,00	
(mg EPG g ⁻¹)	-	-	-	-	-	0,21 ± 0,01	0,18 ± 0,02	1,65	-	0,16 ± 0,04	
(mg g ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	0,52	-	-	-	

Nota. a. EAG: equivalentes de ácido gálico; EC: equivalentes de catequina; EQ: equivalentes de quercetina; ECG: equivalentes de cianidina-3-glucósido; EPG: equivalentes de pelargonidina-3-glucósido. b. Se evaluaron plantas en tres condiciones ambientales (invierno, primavera y verano), se muestra sólo la mayor concentración obtenida. Elaboración propia.

En Costa Rica, un país tropical (8° 02' – 11° 13' N) con condiciones de menos de 12 horas de luz diaria, la zona más apta para la producción de fruto se encuentra entre los 1300 y 2000 m.s.n.m. con temperaturas entre 10 °C a 20 °C (Barquero *et al.*, 2007). El Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica recomienda el cultivo en suelos livianos, preferiblemente arenosos y con buen drenaje, con pH entre 5,5 y 6,5, así como sembrar en los primeros meses de la época lluviosa (mayo, junio y julio) y cosechar en los primeros meses de la época seca (noviembre y diciembre), con lo cual se pueden reducir problemas fitosanitarios causados por humedad, y se coincide con las fechas de mejor precio en el mercado internacional (Barquero *et al.*, 2007).

La fresa es usualmente cultivada en ambientes controlados, bajo condiciones de iluminación y temperatura reguladas (Warner *et al.*, 2021). En las zonas altas de Costa Rica (Figura 2), principalmente mediante sistemas de “ambiente protegido” de elaboración propia, con coberturas de suelo (eras recubiertas por plástico), de aire (túnel y macrotúnel), y con sistemas de riego por goteo (Barquero *et al.*, 2007).

Se recomienda sembrar en eras de 0,70 m de ancho y 0,40 m de alto (0,35 cm entre eras), con dos hileras por era (0,35 m entre hileras, y 0,30 m entre plantas), y no más de 40 m de largo por era (IICA, 2017). También, en sistemas

hidropónicos (Saroj *et al.*, 2021), mediante el uso de sustratos orgánicos e inorgánicos y medios de cultivo especializados, con buenos resultados (Imran *et al.*, 2022).

La propagación tradicional de la fresa comercial (*F. x ananassa*) se realiza mediante multiplicación por estolones. Sin embargo, esta técnica implica alta vulnerabilidad a agentes patológicos, lo cual puede causar pérdidas de hasta el 50% de la producción (Ruíz *et al.*, 2018). Las plantas obtenidas mediante técnicas de cultivo de tejidos *in vitro* son más costosas que las obtenidas por técnicas convencionales (Palei *et al.*, 2015). No obstante, la micropropagación *in vitro* ha permitido la producción masiva de plantas de fresa con alta homogeneidad genética y con características mejoradas, tales como períodos de propagación más cortos, mayor cantidad de flores y de rendimiento de frutos por hectárea, más estolones por plantas,

superior resistencia y tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico, y mayor vigor (Ruíz *et al.*, 2018).

Se han reportado múltiples protocolos eficientes para la micropropagación y la regeneración *in vitro* de la fresa a través de organogénesis adventicia o embriogénesis somática, con diversos tipos de explantes tales como hoja, tallo, pedúnculos, estolones, estípulas, tallos rastreros, raíces, anteras, embriones, sépalos, protoplastos, y peciolo (Husain *et al.*, 2011). El explante preferido para la multiplicación ha sido el cultivo de meristemos de ápices de los estolones, en medios con alta concentración de citoquinina y bajos niveles de auxinas, lo cual promueve la brotación axilar (Husain *et al.*, 2011; Palei *et al.*, 2015). Las técnicas *in vitro* también han facilitado variabilidad respecto al contenido de compuestos bioactivos (Palei *et al.*, 2015).

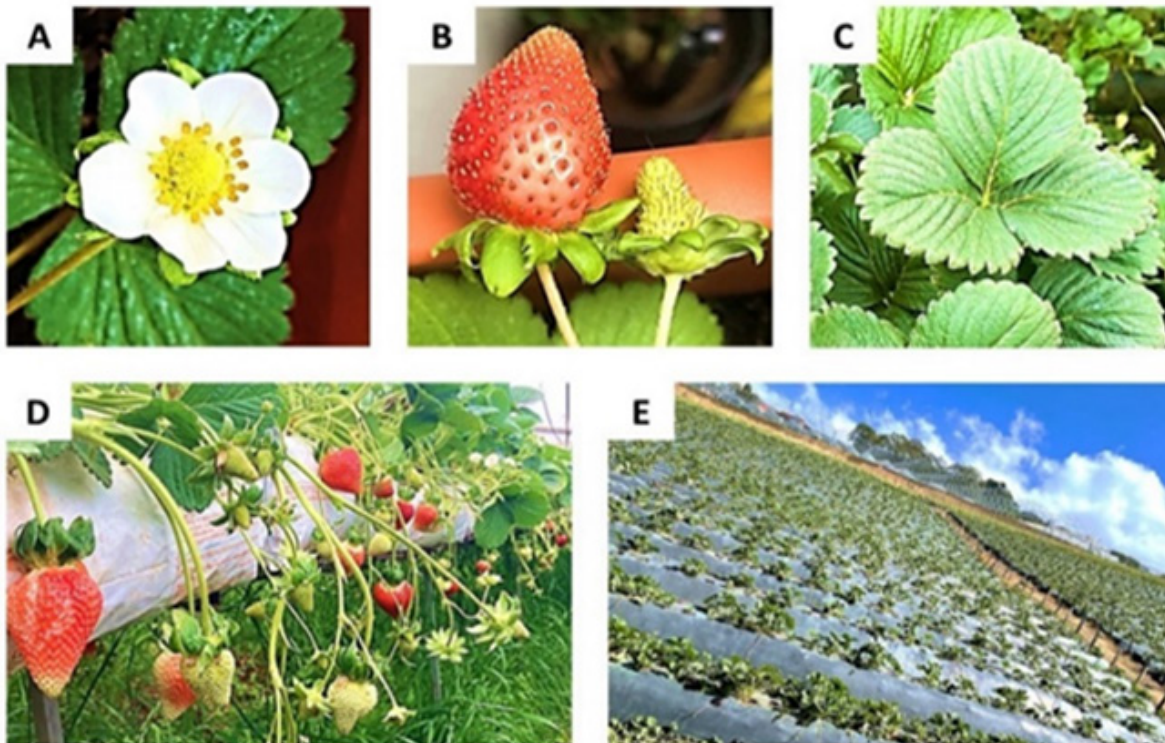


Figura 2

Cultivos de fresa (Fragaria x ananassa cv. Festival) en Llano Grande, Cartago, Costa Rica

Nota. A. Flor. B. Fruto. C. Hoja. D y E. Cultivos en invernadero y en campo, respectivamente. Se ha reportado que las hojas de la variedad Festival tienen mayor contenido de polifenoles totales en comparación con otras variedades. Elaboración propia.

Cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*): Aspectos económicos

La producción global de fresa se ha triplicado en las últimas dos décadas. Para el 2020, la FAO reportó 12,2 millones de toneladas de fresa cultivada en 79 países, donde la mayor producción se realizó en China (27,3%), seguida por Estados Unidos (8,7%), Egipto (4,9%), México (4,6%), Turquía (4,5%) y España (2,2%) (FAO, 2021). Más del 95% se realiza en el Hemisferio Norte (Kim *et al.*, 2011).

En Costa Rica, el VI Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015) menciona la existencia de 342 fincas dedicadas a este cultivo en Costa Rica para el 2014, con una extensión total de 227,3 hectáreas de área sembrada, ubicadas en las provincias de Cartago (38,6%), Alajuela (21,6%), San José (20,8%), Heredia (16,4%), y Limón (2,6%), de las cuales un 58,8% de las fincas reportaron producción para venta en el mercado local y sólo 0,9% para exportación. Por lo tanto, la mayor parte de la producción de fresa en Costa Rica se destina a los mercados y consumo local.

La fresa es comercialmente disponible en todo el mundo de forma fresca o congelada, y en alimentos procesados tales como mermeladas, néctar, y puré (Prasad *et al.*, 2022). En Costa Rica, el consumo anual de este fruto alcanzó los 3,03 kg por persona en el 2015 (Programa Integral de mercadeo Agropecuario de Costa Rica [PIMA], 2016). De forma similar, en Estados Unidos fue de 4,5 kg por persona en 2014, mientras que en la Unión Europea el consumo anual es de alrededor de 5 kg por persona (Simpson, 2018).

Aunado a lo anterior, las hojas de las frutas tipo baya han sido utilizadas medicinalmente en diversas culturas, también las hojas de varias especies de *Fragaria* (Ferlemi y Lamari, 2016; Villamil-Galindo *et al.*, 2020). Por ejemplo, las

hojas de fresa silvestre de la especie *Fragaria nubicula* se utilizan como antiséptico, laxante, diurético y astringente; para detener la diarrea y la disentería; para tratar el resfriado, la tos y la fiebre; y para aliviar dolor de oído, forúnculos, y úlceras bucales y estomacales (Roshan *et al.*, 2019). Sin embargo, el perfil fitoactivo de las hojas de fresa ha sido menos estudiado que el de fruto, y sigue siendo poco aprovechado, a pesar de constituir una fuente potencial de metabolitos bioactivos que pueden ser utilizados en la formulación de productos para el sector alimenticio, industrial y farmacéutico.

Importancia de los polifenoles en el cultivo de fresa

Los polifenoles (Figura 3) constituyen un gran grupo de fitoquímicos que comparten como característica central la presencia de al menos un grupo fenol en su estructura química (Fraga *et al.*, 2019). Estos son los principales pigmentos en frutas, vegetales y cereales. Poseen diferentes funciones en la planta, como la atracción de polinizadores, y la protección de la planta contra la radiación ultravioleta y la contaminación viral y microbiana (Fraga *et al.*, 2019).

El interés actual por los pigmentos polifenólicos se debe a su potencial bioactivo en la prevención o tratamiento de enfermedades crónicas, tales como afecciones cardiovasculares, cáncer, diabetes y obesidad. Además, tienen efectos anti-inflamatorios y anti-neurodegenerativos. Por lo tanto, son compuestos promisorios para el desarrollo de productos de comerciales de consumo humano, con potenciales beneficios biomédicos (Forbes-Hernandez *et al.*, 2016).

El fruto de fresa contiene abundancia de compuestos antioxidantes, principalmente vitamina C (hasta 60 mg 100 g⁻¹ peso fresco) (El-Hawary *et al.*, 2021) y polifenoles, entre estos, antocianinas (responsables del color

rojo del fruto; primordialmente pelargonidinas y cianidinas), así como; taninos hidrolizables (e.g. elagitaninos) y condensados (e.g. proantocianidinas), flavonoles (e.g. quercetinas, kaempferol, fisetina), flavanoles (e.g. catequinas, procianidinas), y ácidos hidroxicinámicos (e.g.

ácido cumárico, elágico, y ferúlico) (Aaby *et al.*, 2012; da Silva *et al.*, 2008; Fierascu *et al.*, 2020; Van de Velde *et al.*, 2013). Además, luego de las moras y las frambuesas, las fresas representan una de las principales fuentes de ácido elágico en la dieta (da Silva *et al.*, 2008; Michalska *et al.*, 2017).

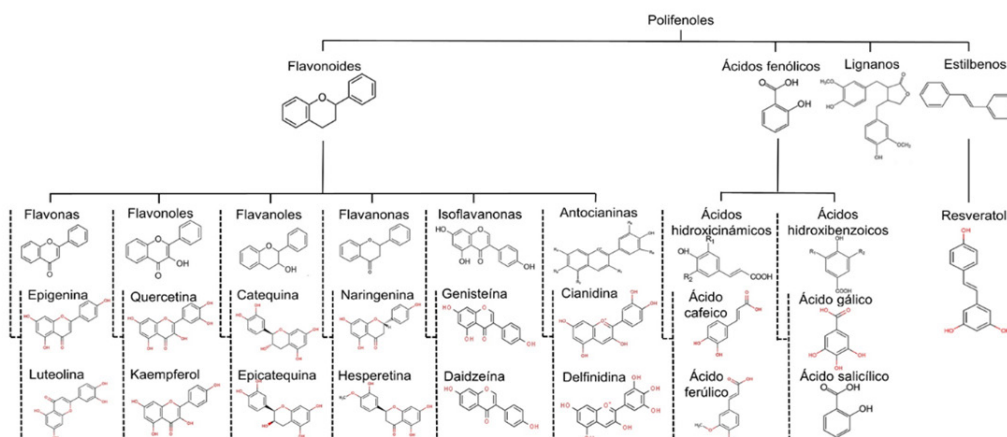


Figura 3

Principales grupos de compuestos polifenólicos presentes en plantas

Nota. Para cada subgrupo de flavonoides y ácidos fenólicos, se muestran dos ejemplos representativos (línea punteada). Elaboración propia.

El fruto objeto de revisión, está incluido dentro de las 100 fuentes alimenticias más abundantes de polifenoles, y ocupan la posición 89 dentro de los alimentos y bebidas que proveen más de 1 mg de polifenoles totales por 100 g ingeridos (Prasad *et al.*, 2022). La variabilidad y el contenido exacto de compuestos fenólicos en las distintas especies y variedades dependen de muchos factores, tales como las cualidades genéticas, las condiciones de cultivo, la madurez del fruto, el tiempo de almacenamiento y las condiciones ambientales (Aaby *et al.*, 2012; Fierascu *et al.*, 2020).

Al igual que en otras frutas tipo baya, como la mora, la frambuesa y los arándanos, se ha demostrado que las hojas de la fresa son más ricas en compuestos polifenólicos que la pulpa del fruto (El-Hawary *et al.*, 2021; Ferlemi y Lamari, 2016; Kårlund *et al.*, 2014; Michalska *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2015). Por ejemplo, El-Hawary *et al.* (2021) reportaron $62,37 \pm 0,1 \mu\text{g}$ EAG mg^{-1} de polifenoles totales y $67,1 \pm 0,4 \mu\text{g}$ equivalentes de rutina mg^{-1} de flavonoides

totales en hojas de fresa variedad Festival, en comparación con un contenido de $20 \pm 0,1 \mu\text{g}$ EAG mg^{-1} de polifenoles totales y $9,52 \pm 0,2 \mu\text{g}$ equivalentes de rutina (ER) mg^{-1} de flavonoides totales en frutos de la misma variedad. Esto representa aproximadamente tres veces mayor cantidad de polifenoles totales y siete veces mayor cantidad de flavonoides totales en la hoja respecto al fruto. Algunos de los más abundantes reportados en hoja, incluyen kaempferol, quercetina, ácido clorogénico, ácido cafeico y ellagitaninos (El-Hawary *et al.*, 2021). Estos últimos se han reportado en concentraciones hasta nueve veces superiores en hoja (82 mg g^{-1} , peso seco) respecto al fruto de la fresa (Karlinska *et al.*, 2021).

Al igual que con el fruto, es esperable que el contenido polifenólico de las hojas difiera entre cultivares, sistemas de cultivo, y condiciones ambientales; por ejemplo, Villamil-Galindo *et al.* (2021) reportaron un mayor contenido de polifenoles totales en las hojas de la variedad

Festival (14,97 g EAG kg⁻¹) respecto a las de San Andreas (8,93 g EAG kg⁻¹), y a las de Camino Real (6,14 g EAG kg⁻¹). De forma similar, El-Hawary *et al.* (2021) reportaron mayor contenido de polifenoles totales (62,37 ± 0,1 µg EAG mg⁻¹) en la variedad Festival respecto a la Tamar (42,63 ± 0,2 µg EAG mg⁻¹), aunque levemente inferior a las Winter Dawn (66,58 ± 0,2 µg EAG mg⁻¹), Red Merlin (72,1 ± 0,1 µg EAG mg⁻¹) y Suzana (72,63 ± 0,1 µg EAG mg⁻¹). Sin embargo, Festival presentó mayor contenido de flavonoides totales (67,1 ± 0,4 µg ER mg⁻¹) en hoja respecto a las demás variedades mencionadas (con valores entre 52,89 ± 0,1 y 65,79 ± 0,1 µg ER mg⁻¹) (El-Hawary *et al.*, 2021).

Consideraciones para la revalorización de los residuos vegetativos del cultivo de fresa en Costa Rica

Los residuos agroindustriales pueden ser revalorizados mediante diversas estrategias, entre estas, la transformación para uso como materias primas en otras cadenas productivas, la generación de combustibles y la explotación térmica. Además, algunos se emplean para la alimentación animal o se aprovechan para compostaje que se reincorpora a los cultivos agrícolas (Vargas y Pérez, 2018). Sin embargo, la mayoría de los desechos agroindustriales no son procesados o descartados apropiadamente; muchos son eliminados mediante quema o vertidos en suelos y aguas, lo que causa contaminación ambiental, con efectos nocivos para el ambiente y la salud de los organismos vivos (Vargas y Pérez, 2018).

El cultivo de fresa genera gran cantidad de residuos agroindustriales, ya que solo se emplea el fruto y el resto de la planta (hojas, cálices, tallos, y demás tejido vegetativo) no se utiliza (Villamil-Galindo *et al.*, 2020, 2021). Al ser perenne, la planta produce constantemente nuevos tallos y hojas, por lo tanto, se acumula eventualmente gran cantidad de hojarasca, lo cual favorece el aumento de humedad y

la proliferación de plagas; debido a esto, el material vegetativo viejo se poda de forma periódica, usualmente después de los ciclos de cosecha (Barquero *et al.*, 2007). Además, para renovarlo, las plantas viejas se deben arrancar completamente del suelo, con la raíz, y deben ser retiradas del campo de siembra; todo este material orgánico puede ser utilizado en compostaje, aunque se recomienda su tratamiento con fungicidas-acaricidas para el control de plagas (IICA, 2017). Hasta donde es de nuestro conocimiento, no existe en Costa Rica un método estandarizado para la eliminación de los residuos del cultivo de fresa, más allá de su utilización en compostaje o alimentación animal, lo cual implica la subutilización o pérdida potencial de compuestos bioactivos de alto valor para otras industrias.

Se ha reportado ampliamente la revalorización de los residuos del fruto de fresa no consumido y de los desechos del procesamiento industrial (Cubero-Cardoso *et al.*, 2020; Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2019; Serrano Moral, 2015; Tumbas *et al.*, 2015; Vázquez-González *et al.*, 2020). Sin embargo, los desechos vegetativos, que pueden representar hasta el 20% de la producción total, son poco aprovechados (Villamil-Galindo *et al.*, 2020, 2021).

Algunos de los efectos reportados para extractos de hoja de fresa con posibles aplicaciones biomédicas incluyen: actividad antioxidante *in vitro* (Cvetković *et al.*, 2017); inhibición de la proliferación contra células humanas de leucemia (HL60) (Skupien *et al.*, 2006), y contra células humanas de carcinoma hepatocelular (Hep-G2); alivio del deterioro cognitivo causado por diabetes (en ratas) (Zhang *et al.*, 2020); efecto hipoglicémico (en ratas) (El-Hawary *et al.*, 2021; Shaheen, 2019); potencial analgésico (en ratas) (Kanodia y Das, 2009) y usos cosméticos (Ziemlewska *et al.*, 2022). Además, se han detectado efectos

antimicrobianos de la hoja de fresa contra *Helicobacter pylori* (Cardoso et al., 2018), *Bacillus subtilis*, *Salmonella choleraesuis* y *Micrococcus liti* (Al-Deen et al., 2013).

Conclusiones

Considerando el incremento mundial en el cultivo de fresa en las últimas décadas, las condiciones en zonas altas tropicales con climas templados, dosis elevadas de irradiación solar favorables para la producción de polifenoles antioxidantes (Kårlund et al., 2014), así como el perfil fitoactivo subutilizado de sus hojas, los residuos vegetativos del cultivo de fresa representan una fuente relevante y poco aprovechada de materia prima con alto potencial bioactivo. Siguiendo el ejemplo de múltiples experiencias que han revalorizado cultivos tropicales para la generación de alimentos funcionales, nutraceuticos, cosméticos, alimento animal, y biocombustibles (Cádiz-Gurrea et al., 2020).

Por lo tanto, y de especial importancia para países pequeños en desarrollo y con economías de base agrícola, es imperativo implementar mecanismos para mejorar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para darle un mayor valor agregado a los cultivos, con miras hacia una economía circular y en beneficio del ambiente y la salud humana.

Agradecimientos

Esta revisión fue financiada por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y contó con el apoyo de la estudiante de Ingeniería en Biotecnología, María Fernanda Brenes Zárate.

Referencias

Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., y Skrede, G. (2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during

ripening. *Food Chemistry*, 1 (1), 132, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.037>

Afrin, S., Gasparrini, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Reboredo-Rodriguez, P., Mezzetti, B., Varela-López, A., ... Battino, M. (2016). Promising Health Benefits of the Strawberry: A Focus on Clinical Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 4435–4449. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00857>

Al-Deen, A. T., Al-Naqeb, G., y Al-Maqtari, Q. (2013). Investigation of antioxidant and antibacterial effects of *Dodonaea viscosa*, *Fragaria x ananassa* Duch and *Vernonia amygdalina* leaves. *Aden University Journal*, 17 (1), 1–14.

Barquero, J., Meneses, R., Barrantes, L., Ugalde, P., Villalobos, N., y Serrano, D. (2007). *Agrocadena de Fresa*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00070.pdf>

Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., y Lyons, T. J. (2014). Strawberry As a Functional Food: An Evidence-Based Review Strawberry As a Functional Food: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 790–806. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608174>

Cádiz-Gurrea, M. de la L., Villegas-Aguilar, M. del C., Leyva-Jiménez, F. J., Pimentel-Moral, S., Fernández-Ochoa, A., Alañón, M. E., y Segura-Carretero, A. (2020). Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches. *Food Research International*, 138 (Part B), 109786. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109786>

Cardoso, O., Donato, M. M., Luxo, C., Almeida, N., Liberal, J., Figueirinha, A., y Batista, M. T. (2018). Anti-*Helicobacter pylori* potential of *Agrimonia eupatoria* L. and *Fragaria vesca*. *Journal of Functional Foods*, 44, 299–303. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.03.027>

Carvalho, S. F. de, Correa, A. P. A., Ferreira, L. V., Vizzotto, M., y Antunes, L. E. C. (2021). Production, chemical components, and content of bioactive compounds of strawberry cultivars. *Revista Engenharia Na Agricultura*, 29, 275–285. <https://doi.org/10.13083/revegn.v29i1.10883>

Chaves, V. C., Calvete, E., y Reginatto, F. H. (2017). Quality properties and antioxidant activity of seven strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 225, 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.013>

Cordenunsi, B. R., Nascimento, J. R. O., y Lajolo, F. M. (2003). Physico-chemical changes related to

quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chemistry*, 83 (2), 167–173. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00059-1)

Cubero-Cardoso, J., Serrano, A., Trujillo-Reyes, A., Villa-Gómez, D. K., Borja, R., y Fermoso, F. G. (2020). Valorization Options of Strawberry Extrudate Agro-Waste. A Review. En Novo de Barros, A. y Góuvinhas, I. (Eds.). *Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93997>

Cvetković, D. J., Stanojević, L. P., Stanković, M. Z., Cakić, M. D., Svić, S. R., y Miljković, M. D. (2017). Antioxidant activity of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) leaves. *Separation Science and Technology*, 52 (6), 1039–1051. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1281305>

da Silva, P. M., Lajolo, F. M., y Genovese, M. I. (2008). Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Chemistry*, 107, 1629–1635. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.038>

Demchak, K. (2013). *The Mid-Atlantic Berry Guide for Commercial Growers 2013-2014*. The Pennsylvania State University. University Park, PA, USA. <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/AGRS097.pdf>

El-Hawary, S. S., Mohammed, R., El-Din, M. E., Hassan, H. M., Ali, Z. Y., Rateb, M. E., ... El Nagar, El M. B., Othman, E. M., y Abdelmohsen, U. R. (2021). Comparative phytochemical analysis of five Egyptian strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) and antidiabetic potential of Festival and Red Merlin cultivars. *RSC Advances*, 11, 16755–16767. <https://doi.org/10.1039/d0ra10748d>

Fait, A., Hanhineva, K., Beleggia, R., Dai, N., Rogachev, I., Nikiforova, V. J., Fernie, A., y Aharoni, A. (2008). Reconfiguration of the achene and receptacle metabolic networks during strawberry fruit development. *Plant Physiology*, 148, 730–750. <https://doi.org/10.1104/pp.108.120691>

Ferlemi, A. V., y Lamari, F. N. (2016). Berry leaves: An alternative source of bioactive natural products of nutritional and medicinal value. *Antioxidants*, 5 (2), 2–10. <https://doi.org/10.3390/antiox5020017>

Fierascu, R. C., Temocico, G., Fierascu, I., Ortan, A., y Babeanu, N. E. (2020). *Fragaria* genus: Chemical composition and biological activities. *Molecules*, 25, 498. <https://doi.org/10.3390/molecules25030498>

Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Afrin, S., Bompadre, S., Mezzetti, B., Quiles, J. L., Giampieri, F. y Battino, M. (2016). The Healthy Effects of Strawberry

Polyphenols: Which Strategy behind Antioxidant Capacity?. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56 (1), S46–S59. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1051919>

Fraga, C. G., Croft, K. D., Kennedy, D. O., y Tomás-Barberán, F. A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food and Function*, 10 (2), 514–528. <https://doi.org/10.1039/c8fo01997e>

Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Afrin, S., Cianciosi, D., Reboredo-Rodríguez, P., Valera-López, A., Quiles, J. L., Mezzetti, B., y Battino, M. (2017). The healthy effects of strawberry bioactive compounds on molecular pathways related to chronic diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences, Phytochemicals in Medicine and Food*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/nyas.13373>

Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S., Quiles, J. L., Mezzetti, B., y Battino, M. (2015). Strawberry as a health promoter: An evidence based review. *Food and Function*, 6, 1386–1398. <https://doi.org/10.1039/c5fo00147a>

Golovinskaia, O., y Wang, C. K. (2021). Review of functional and pharmacological activities of berries. *Molecules*, 26, 3904. <https://doi.org/10.3390/molecules26133904>

Husain, A. M., Mercado, J. A., Teixeira, J. A. da S., y Schaart, J. G. (2011). Review of Factors Affecting Organogenesis, Somatic Embryogenesis and Agrobacterium tumefaciens-Mediated Transformation of Strawberry. *Genes, Genomes and Genomics* 5 (1), 1–11. <https://digital.csic.es/handle/10261/57836>

Imran, S. M., Saxena, D., Kazimi, R., y Pratap, S. (2022). Effects of various growing media, as well as jeevamrit, on the growth and production of strawberry: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11 (4), 405–410. <https://www.thepharmajournal.com>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2017). *Manual de buenas prácticas agrícolas y de producción para el cultivo de la fresa*. IICA. <https://repositorio.ica.int/handle/11324/2932>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: cultivos agrícolas, forestales y ornamentales*. San José, Costa Rica. <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/agropecuario/publicaciones/reagropeccenagro2014-tii-007.pdf>

Kanodia, L. y Das, S. (2009). A comparative study of analgesic property of whole plant and fruit extracts of *Fragaria vesca* in experimental animal models.

Bangladesh Journal of Pharmacology, 4 (1), 35–38. <https://doi.org/10.3329/bjp.v4i1.10479>

Karlinska, E., Masny, A., Cieslak, M., Macierzynski, J., Pecio, Ł., Stochmal, A., y Kosmala, M. (2021). Ellagitannins in roots, leaves, and fruits of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) vary with developmental stage and cultivar. *Scientia Horticulturae*, 275, 109665. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109665>

Kårlund, A., Hanhineva, K., Lehtonen, M., McDougall, G. J., Stewart, D., y Karjalainen, R. O. (2017). Non-targeted metabolite profiling highlights the potential of strawberry leaves as a resource for specific bioactive compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(7), 2182–2190. <https://doi.org/10.1002/JSSFA.8027>

Kårlund, A., Salminen, J. P., Koskinen, P., Ahern, J. R., Karonen, M., Tiilikkala, K., y Karjalainen, R. O. (2014). Polyphenols in strawberry (*Fragaria × ananassa*) leaves induced by plant activators. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20), 4592–4600. <https://doi.org/10.1021/jf405589f>

Kim, H., Bassil, N., y Njuguna, W. (2011). *Fragaria*. En Kole, C. (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Temperate Fruits*. Springer Berlin Heidelberg. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-16057-8>

Kobi, H. B., Martins, M. C., Silva, P. I., Souza, J. L., Carneiro, J. C. S., Heleno, F. F., Queiroz, M. L., y Costa, N. M. B. (2018). Organic and conventional strawberries: Nutritional quality, antioxidant characteristics and pesticide residues. *Fruits*, 73 (1), 39–47. <https://doi.org/10.17660/th2018/73.1.5>

Kumari, S., Sankhyan, S., y Kumar, A. (2020). Yield and quality characters of different strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivars growing under mid hill conditions of Himachal Pradesh. *The Pharma Innovation Journal*, 9 (6), 425–428. <https://www.thepharmajournal.com>

Lema-Rumińska, J., Kulus, D., Tymoszuik, A., Miler, N., Wozny, A., y Wenda-Piesik, A. (2021). Physiological, biochemical, and biometrical response of cultivated strawberry and wild strawberry in greenhouse gutter cultivation in the autumn-winter season in Poland—preliminary study. *Agronomy*, 11 (8), 1633. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081633>

Liston, A., Cronn, R., y Ashman, T. L. (2014). *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany*, 101(10), 1686–1699. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>

Liu, Z., Ma, H., Jung, S., Main, D., y Guo, L. (2020). Developmental Mechanisms of Fleshy Fruit Diversity in *Rosaceae*. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 547–573. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-111119-021700>

Marta, A. E., Camadro, E. L., Díaz-Ricci, J. C., y Castagnaro, A. P. (2004). Breeding barriers between the cultivated strawberry, *Fragaria × ananassa*, and related wild germplasm. *Euphytica*, 136(2), 139–150. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000030665.95757.76>

Massetani, F., Gangatharan, R., y Neri, D. (2011). Plant Architecture of Strawberry in Relation to Abiotic Stress, Nutrient Application and Type of Propagation System. En Husaini, A.M., y Mercado, J.A. (Eds.), *Genes, Genomes and Genomics*, 12–23. Global Science Books, UK.

Michalska, A., Carlen, C., Heritier, J., y Andlauer, W. (2017). Profiles of bioactive compounds in fruits and leaves of strawberry cultivars. *Journal of Berry Research*, 7 (2), 71–84. <https://doi.org/10.3233/JBR-160146>

Miller, K., Feucht, W., y Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11 (7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/nut11071510>

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica [MAG]. (2014). *Fragaria Spp. Rosaceae*. MAG. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/téc_fresa.pdf

Nunes, G., Teixeira, F., Schwarz, K., Camargo, C. K., De Resende, J. T. V., Dos Santos, E. F., Franco, B.C., y Novello, D. (2021). Influence of genetic variability on the quality of strawberry cultivars: Sensorial, physical-chemical and nutritional characterization. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 43, e46862. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.46862>

Nunes, M. C. N., Brecht, J. K., Morais, A. M. M. B., y Sargent, S. A. (2005). Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry (cv. Oso Grande) during storage at 1°C. *Journal of Food Science*, 70 (1), S79–S84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09069.x>

Oguz, H. I., Zorlugenc, F. K., Zorlugenc, B., y Kafkas, N. E. (2017). A study on the variance of phytochemical properties in the fruit of some strawberry cultivars (*Fragaria ananassa* L.) grown under environmental conditions in Adana region. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(6), 3963–3969. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173286393>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). FAOStat. FAO. <https://www.fao.org>

Ornelas-Paz, J. D. J., Yahia, E. M., Ramírez-Bustamante, N., Pérez-Martínez, J. D., Escalante-Minakata, M. D. P., Ibarra-Junquera, V., Acosta-Muñoz, C., Guerrero-Prieto, V., y Ochoa-Reyes, E. (2013). Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. *Food Chemistry*, 138 (1), 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.006>

Palei, S., Das, A. K., y Rout, G. R. (2015). *In vitro* studies of strawberry - an important fruit crop: a review. *Journal of Plant Science and Research*, 31 (2), 115–131. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/vitro-studies-strawberry-important-fruit-crop/docview/1787816911/se-2?accountid=27651>

Paparozi, E. T., Meyer, G. E., Schlegel, V., Blenkinship, E. E., Adams, S. A., Conley, M. E., Loseke, B. y Read, P. E. (2018). Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter. *Scientia Horticulturae*, 227, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.048>

Pinheiro, D. F., de Resende, J. T. V., Constantino, L. V., Hata, F. T., Hata, N. N. Y., & Lustosa, S. B. C. (2021). Physical, biochemical, and sensory properties of strawberries grown in high-altitude tropical climate. *Ciência e Agrotecnologia*, 45, e008221. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145008221>

Prasad, R., Lisiecka, J., y Raj, K. (2022). Strawberry – More than a Popular Summer Fruit : A Mini-Review. *Advances in Nutrition and Food Science*, 2022 (2), 1–5. <https://doi.org/10.37722/ANAFS.2022201>

Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria-Fresa [PITTA-Fresa]. (2022). (PITTA-Fresa). Comunicación Personal. Costa Rica.

Programa Integral de Mercado Agropecuario [PIMA]. (2016). *Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses*. PIMA. Costa Rica. <http://www.pima.go.cr>

Rodríguez-Gutiérrez, G., Cubero Cardoso, J., Rubio-Senent, F., Serrano, A., Borja, R., Fernández-Bolaños, J., y Feroso, F. G. (2019). Thermally-treated strawberry extrudate: A rich source of antioxidant phenols and sugars. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.017>

Roshan, R., Ahmed, S., y Mohtasheem ul Hassan, M. (2019). *Fragaria nubicola* (Rosaceae): A review of medicinal uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8 (4), 3390–3393. <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue4/PartBC/8-4-513-799.pdf>

Ruan, J., Lee, Y. H., Hong, S. J., y Yeoung, Y. R. (2013). Sugar and organic acid contents of day-neutral and ever-bearing strawberry cultivars in high-elevation for summer and autumn fruit production in Korea. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 54 (3), 214–222. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0186-8>

Ruiz Anchondo, T., Adriano Martínez, J., Carrillo Castillo, T., Parra Quezada, R. A., Ojeda Barrios, D. L., y Hernández Rodríguez, A. (2018). Establecimiento *in vitro* de dos cultivares liberados de frutillas: fresa y frambuesa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (4), 799–812. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1397>

Saroj, N. L., Singh, S., y Yadav, S. (2021). Strawberry : A wonder crop suitable for Hydroponics. *Journal of Horticulture*, 08 (2), 1–3. <https://doi.org/10.35248/2376-0354.21.8.279>

Sato, T., Ikeya, Y., Adachi, S. ichi, Yagasaki, K., Nihei, K. ichi, y Itoh, N. (2019). Extraction of strawberry leaves with supercritical carbon dioxide and entrainers: Antioxidant capacity, total phenolic content, and inhibitory effect on uric acid production of the extract. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.07.003>

Serrano-Moral, A. (2015). *Tratamiento de residuos y subproductos agroindustriales mediante co-digestión anaerobia*. [Tesis de maestría]. Universidad de Córdoba, Colombia. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/12558>

Shaheen, E. M. S. (2019). Protective effect of *Fragaria* induced diabetes in rats ananassa against streptozotocin-induced diabetes in rats. *The Egyptian Journal of Experimental Biology (Zoology)*, 15 (1), 69–75. <https://doi.org/10.5455/egysebz.20190415100613>

Simpson, D. (2018). The Economic Importance of Strawberry Crops. En Hytönen, T., Graham, J., y Harrison R. (Eds.), *The Genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives*, 1–7. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1

Singh, A., Singh, B. K., Deka, B. C., Sanwal, S. K., Patel, R. K., y Verma, M. R. (2011). The genetic variability, inheritance and inter-relationships of

ascorbic acid, β -carotene, phenol and anthocyanin content in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 129 (1), 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.SCIENTA.2011.03.011>

Skupien, K., Oszmianski, J., Kostrzewa-Nowak, D., y Tarasiuk, J. (2006). *In vitro* antileukaemic activity of extracts from berry plant leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells. *Cancer Letters*, 236 (2), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2005.05.018>

Staudt, G. (2009). Strawberry biogeography, genetics and systematics. *Acta Horticulturae*, 842, 71–84. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.842.1>

Staudt, G. (1999). *Systematics and Geographic Distribution of the American Strawberry Species: Taxonomic Studies in the Genus Fragaria (Rosaceae: Potentillae)* (81). University of California Press.

Toop, T. A., Ward, S., Oldfield, T., Hull, M., Kirby, M. E., y Theodorou, M. K. (2017). AgroCycle - Developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia*, 123, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>

Tumbas, S. V., Gironés-Vilaplana, A., Djilas, S., Mena, P., Cetković, G., Moreno, D. A., Canadanović-Brunet, J., Vulić, J., Stajčić S., y Vinčić, M. (2015). Chemical composition and potential bioactivity of strawberry pomace. *RSC Advances*, 5(7), 5397–5405. <https://doi.org/10.1039/c4ra14296a>

Urün, I., Attar, S. H., Sönmez, D. A., Gündesli, M. A., Ercişli, S., Kafkas, N. E., Bandić, L.M., y Duralija, B. (2021). Comparison of polyphenol, sugar, organic acid, volatile compounds, and antioxidant capacity of commercially grown strawberry cultivars in Turkey. *Plants*, 10, 1654. <https://doi.org/10.3390/plants10081654>

Van de Velde, F., Tarola, A. M., Güemes, D., y Pirovani, M. E. (2013). Bioactive compounds and antioxidant capacity of camarosa and selva strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Foods*, 2 (2), 120–131. <https://doi.org/10.3390/foods2020120>

Vargas, C. Y. A. y Pérez, P. L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (1), 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Vázquez-González, M., Fernández-Prior, Á., Bermúdez, O. A., Rodríguez-Juan, E. M., Pérez-Rubio, A. G., Fernández-Bolaños, J., y Rodríguez-Gutiérrez, G. (2020). Utilization of strawberry and raspberry waste for the extraction of bioactive compounds by deep eutectic solvents. *LWT - Food Science and Technology*, 130, 109645. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109645>

Villamil-Galindo, E., Van, de V. F. y Piagentini, A. M. (2020). Extracts from strawberry by-products rich in phenolic compounds reduce the activity of apple polyphenol oxidase. *LWT - Food Science and Technology*, 133, 110097. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110097>

Villamil-Galindo, E., Van, de V. F. y Piagentini, A. M. (2021). Strawberry agro-industrial by-products as a source of bioactive compounds: effect of cultivar on the phenolic profile and the antioxidant capacity. *Bioresources and Bioprocessing*, 8 (61). <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00416-z>

Warner, R., Wu, B., Sen, MacPherson, S., y Lefsrud, M. (2021). A Review of Strawberry Photobiology and Fruit Flavonoids in Controlled Environments. *Frontiers in Plant Science*, 12, 611893. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.611893>

Zhang, L., Ma, Q., y Zhou, Y. (2020). Strawberry leaf extract treatment alleviates cognitive impairment by activating Nrf2/HO-1 signaling in rats with streptozotocin-induced diabetes. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12, 201. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00201>

Zhu, Q., Nakagawa, T., Kishikawa, A., Ohnuki, K., y Shimizu, K. (2015). *In vitro* bioactivities and phytochemical profile of various parts of the strawberry (*Fragaria x ananassa* var. Amaou). *Journal of Functional Foods*, 13, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.026>

Ziemlewska, A., Nizioł-Lukaszewska, Z., Zagórska-Dziok, M., Bujak, T., Wójciak, M., y Sowa, I. (2022). Evaluation of cosmetic and dermatological properties of kombucha-fermented berry leaf extracts considered to be by-products. *Molecules*, 27 (7), 2345. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules27072345>