

FISIOLOGÍA DE LA MADURACIÓN Y MANEJO EN POSTCOSECHA DE FRUTILLA CHILENA (*Fragaria chiloensis*)

RIPENING PHYSIOLOGY AND POSTHARVEST MANAGEMENT OF CHILEAN STRAWBERRY (*Fragaria chiloensis*)

Carlos Villarroel¹ y Karin Albornoz^{2*}

¹ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Región del Biobío, Chile
carvillarroel@udec.cl

² Department of Food, Nutrition, and Packaging Sciences, Coastal Research and Education Center, Clemson University, 2700 Savannah Highway, Charleston, SC 29414 USA
kpalbor@clemson.edu
<https://orcid.org/0000-0002-0483-4323>

* Autor para correspondencia: kpalbor@clemson.edu

RESUMEN

La frutilla chilena (*Fragaria chiloensis*) es una especie nativa de Chile. Es un fruto apreciado por los consumidores por sus propiedades organolépticas, pero es altamente perecedero. Dado que es un fruto no climatérico, debe ser cosechado en el momento óptimo de maduración para asegurar su calidad durante la comercialización. La calidad de estos frutos se mide por apariencia, sabor, aroma, valor nutricional y firmeza, la cual experimenta cambios durante el proceso de maduración. La especie presenta una alta tasa de pérdida de firmeza o ablandamiento, que se asocia a la elevada actividad de enzimas de las fracciones hemicelulosa y pectina de la pared celular, como la poligalacturonasa, α -arabinofuranosidasa, β -galactosidasa, endo-glucanasa, β -xilosidasa, xiloglucano endotransglicosilasa/hidrolasa y ramnogalacturonano liasa en diversas etapas de maduración. La firmeza es un atributo clave para la comercialización y la mantención de la calidad organoléptica, por lo que su control es necesario durante el almacenamiento. Para ello, se han investigado los efectos de tratamientos pre o postcosecha, como atmósferas modificadas, y aplicaciones exógenas de calcio, auxina, metil jasmonato, quitosano y sulfuro de hidrógeno, que contribuyen a mantener este atributo al reducir la solubilización de las pectinas, así como otros aspectos de la calidad organoléptica y nutricional durante el almacenamiento. Esta revisión bibliográfica presenta hallazgos sobre la biología de maduración de *Fragaria chiloensis*, las investigaciones más recientes sobre el fenómeno de ablandamiento y sus bases bioquímicas y moleculares, así como intervenciones orientadas a mantener la calidad y extender la vida postcosecha de este fruto.

Palabras clave: Firmeza, ablandamiento, pectinas, pared celular, vida útil, vida de anaquel, almacenamiento postcosecha.

ABSTRACT

The Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) is a native species to Chile. Consumers value this fruit for its organoleptic properties, but it is highly perishable. Since it is a non-climacteric fruit, harvesting at the optimum ripening stage is essential to ensure its quality during commercialization.

In this fruit, quality is determined by appearance, flavor, aroma, nutritional value, and firmness, which changes during ripening. The species presents a high rate of firmness loss or softening, associated with the elevated enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes of the pectin and hemicellulose fractions, such as polygalacturonase, α -arabinofuranosidase, β -galactosidase, endoglucanase, β -xylosidase, xyloglucan endotransglycosilase/hydrolase and rhamnogalacturonan lyase at different ripening stages. Firmness is a key trait for commercialization and organoleptic quality; hence, its management during storage is necessary. Different studies have investigated the effects of pre or postharvest treatments, such as modified atmosphere packaging and exogenous applications of calcium, auxin, methyl jasmonate, chitosan, and hydrogen sulfide, which maintain fruit firmness by reducing pectin solubilization and improve other attributes responsible for organoleptic and nutritional quality during storage. This literature review focuses on the ripening biology of *Fragaria chiloensis* and recent findings regarding softening and its biochemical and molecular basis, as well as interventions oriented to maintain the quality and extend the shelf-life of this fruit.

Keywords: Firmness, softening, pectins, cell wall, shelf-life, postharvest storage.

INTRODUCCIÓN

La frutilla o fresa chilena (*Fragaria chiloensis* (L.) Mill.), es una especie silvestre del género *Fragaria*, la cual es nativa del sur de Chile (Figueroa et al., 2008). Es una planta rastrera con fruto comestible conocido como “eterio”, que botánicamente corresponde a un falso fruto carnoso formado por un receptáculo expandido cuyo color varía entre blanco pálido a rosa translúcido, y sobre el cual se depositan numerosos frutos verdaderos o “aquenios” (Fig. 1).

Comúnmente conocida como “frutilla chilena”, “frutilla blanca”, “frutilla silvestre”, “kelleñ” o “llahueñ”, pertenece a la familia Rosaceae (Morales-Quintana and Ramos, 2019). Es una especie cuyo fruto ha sido utilizado por los pueblos indígenas de Chile, incluido el mapuche y la extinta cultura Kawashkar por varios siglos para su alimentación, como bebestible y para algunos ritos ceremoniales (Hancock et al., 1999; Finn et al., 2013; Pardo et al., 2013; Morales-Quintana y Ramos, 2019). La frutilla chilena es uno de los progenitores de la frutilla (fresa) roja o comercial (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Hancock et al., 1999), cuya popularidad se ha visto reforzada

por su producción a nivel mundial, la cual ha crecido de manera sostenida a partir de los años 60, alcanzando 9,18 millones de toneladas en el año 2021 (Kouloumprouka Zacharaki et al., 2024).

En Chile, *Fragaria chiloensis* se encuentra presente desde Iloca en la Región del Maule y hasta Cochrane en la Región de Aysén. Se han registrado campos comerciales en Contulmo, en la Región del Bio-Bio, y en Purén, en la Región de la Araucanía (Pardo et al., 2013). No obstante, la presencia de *F. chiloensis* en zonas de California e incluso Hawaii, en Norteamérica, evidencia su gran dispersión geográfica, posiblemente causada por los patrones migratorios de aves (Hancock y Prince, 2021).

La frutilla chilena se destaca por sus características nutricionales y organolépticas, al beneficiarse de un aroma y sabor distintivo (González et al., 2009; Prat et al., 2014; Noriega et al., 2021). Su consumo tiene potenciales efectos positivos en la salud humana, por sus compuestos fenólicos, los que muestran una amplia gama de actividades biológicas, como efectos anticancerígenos, antiinflamatorios y antioxidantes (Fredes, 2009; Noriega et al., 2021). El ácido elágico presente en *Fragaria chiloensis*



Fig. 1. Frutos de *Fragaria chiloensis* con pedúnculos y sépalos incluidos.
Fig. 1. *Fragaria chiloensis* fruit with pedicel and sepals.

actúa como potencial agente anticancerígeno de acuerdo con estudios *in vitro* y en modelos animales (Muthukumaran et al., 2017), y su contenido es de aproximadamente cuatro veces más que la frutilla roja, cumpliendo de esta manera su rol como alimento funcional (Schmeda-Hirschmann et al., 2019).

La fisiología de maduración de la frutilla chilena, similar a otros frutos carnosos, es un proceso complejo que involucra una serie de cambios bioquímicos, físicos y fisiológicos que ocurren en la fruta a medida que madura (Giovannoni et al., 2017). Estos cambios son esenciales para el desarrollo del sabor, aroma, color y textura característicos de la fruta, y tienen implicaciones importantes para el manejo en postcosecha (Gundewadi et al., 2018). Los frutos del género *Fragaria* son altamente perecederos, y, por tanto, requieren un manejo cuidadoso desde su cosecha hasta su comercialización. El fruto de *Fragaria chiloensis* presenta un mayor nivel de ablandamiento que el de *Fragaria x ananassa*, siendo altamente susceptible a pudriciones postcosecha y al daño mecánico, lo que dificulta aún más su comercialización. Esto influye en que su vida postcosecha sea limitada, provocando así importantes daños y pérdidas económicas (Figueroa et al., 2018; Moya-León et al., 2019).

Comprender la fisiología de maduración de la frutilla chilena y su influencia en el manejo de postcosecha es esencial para reducir la tasa de ablandamiento, y así garantizar la calidad y la vida útil, lo que contribuirá a maximizar su valor comercial. La presente revisión bibliográfica se referirá brevemente a la situación de *F. chiloensis* en Chile, sintetizará el estado del arte sobre su fisiología de maduración, e investigaciones orientadas a mejorar la calidad organoléptica y nutricional durante el almacenamiento postcosecha.

Características botánicas y agronómicas de *Fragaria chiloensis* y situación en Chile

La frutilla chilena es una especie perenne y rastrera. Su planta está formada por una corona que produce estolones que crecen a partir de las yemas axilares, los cuales enraízan en contacto con el suelo y representan el principal método de propagación del cultivo (Lavín y Maureira, 2000). Las hojas son pinnadas, trifoliadas y dentadas, con una inserción peciolada en la corona. Las flores pueden ser femeninas o hermafroditas, siendo estas últimas las que producen frutos por sí solas. Cada flor hermafrodita o flor perfecta está constituida por un cáliz, compuesto por seis a siete sépalos, una corola compuesta de cinco a siete pétalos de color blanco y muchos estambres incrustados en el receptáculo (Céspedes, 2017).

El ciclo anual de esta especie se caracteriza por cuatro etapas: floración, fructificación, aparición de estolones, y receso o latencia (Lavín y Maureira, 2000). El período de floración es breve, de alrededor de tres meses, mostrando el punto de mayor crecimiento entre septiembre a noviembre, no observándose ninguna otra floración importante en verano. Su fructificación depende del fotoperiodo, ya que es una especie de día corto que requiere días con menos de 14 h de luz para fructificar (Céspedes, 2018).

La frutilla chilena es símbolo de las montañas de Nahuelbuta en Chile debido a su histórica importancia agrícola y comercial (Céspedes, 2018). En Chile, *F. chiloensis* se puede encontrar tanto en su forma silvestre como comercial, adaptándose fácilmente a diferentes climas y suelos, por lo que crece en climas mediterráneo, marino y polar (Finn et al., 2013). *F. chiloensis* puede ser cultivada en dos estaciones diferentes, dependiendo de la zona. En la zona costera del sur de Chile, la plantación se realiza a finales de otoño (finales de abril y principio de mayo), mientras que en zonas donde las temperaturas fluctúan entre 5 y 25°C puede ser plantada durante el verano (entre diciembre y febrero) (Céspedes, 2018). La cosecha se realiza entre mediados de octubre a los primeros días de enero, dependiendo de la zona productiva. (Lavín y Maureira, 2000; Contigiani et al., 2018; Fan et al., 2022).

En Chile, se estima que la superficie dedicada al cultivo de *F. chiloensis* es de 30 a 40 ha, y la superficie promedio por productor varía entre 0,125 a 1 hectárea (Finn et al., 2013). No existen datos exactos, pero se estima que su producción ha disminuido en Chile de manera progresiva, afectando las economías de los pequeños agricultores (Céspedes, 2018). Los rendimientos fluctúan entre 1 a 11 t ha⁻¹ (Figueroa et al., 2018), mientras que en la frutilla roja alcanzan las 60 t ha⁻¹ (INDAP, 2024).

Este cultivo representa una importante fuente de ingreso estacional para la pequeña agricultura, pero su comercialización es escasa, debido a que las zonas de producción están alejadas de los grandes centros urbanos (Lavín y Maureira, 2000; Nishizawa et al., 2002). El abastecimiento de la frutilla chilena se dificulta debido a la limitada zona geográfica en donde se cultiva y por su alta tasa de ablandamiento, contribuyendo a una vida postcosecha de menos de 4 días a temperatura ambiente (Retamales et al., 2005, Valdenegro et al., 2010).

En estudios realizados en Chile, se reportó que los consumidores y los restaurantes de la Región Metropolitana prefirieron la frutilla chilena en lugar de la frutilla roja. La preferencia se basó en su mejor textura, jugosidad, aroma intenso,

suavidad de la pulpa, sabor y dulzura (Adasme et al., 2006; Ruz Pozo y Engler Palma, 2011). No obstante, a nivel productivo, existe una mayor preferencia de los agricultores hacia la frutilla roja, la cual es más rentable al producir mayores rendimientos (Figueroa et al., 2018). Cabe destacar que el precio promedio del kilogramo de frutilla roja en Chile oscila entre los \$1.000 y \$7.000 (Pefaur, 2020), mientras que la frutilla chilena alcanza entre los \$20.000 y \$24.000 por kilogramo (datos propios al año 2023 expresados en CLP o pesos chilenos).

Regulación hormonal del proceso de maduración de *Fragaria chiloensis*

Durante el proceso de maduración organoléptica del fruto de *F. chiloensis* ocurren una serie de alteraciones a nivel molecular, bioquímico y fisiológico, que en conjunto permiten que los frutos desarrollen sus características sensoriales como el sabor, intenso aroma y distintivo color (Mattus-Araya et al., 2022). Estos cambios son modulados por alteraciones a nivel hormonal y por alteraciones en la expresión génica y en la actividad de determinadas enzimas (Pimentel et al., 2010; Carrasco-Orellana et al., 2018; Mattus-Araya et al., 2022).

La maduración de los frutos del género *Fragaria* sigue un patrón no climatérico, por lo que no hay un incremento significativo en la tasa respiratoria y de producción de la hormona etileno (Fuentes et al., 2019). La maduración no persiste después de la cosecha, y, por lo tanto, la calidad organoléptica no mejora durante este período (Cherian et al., 2014). La síntesis de etileno no es significativa en frutilla chilena, sin embargo, estudios sugieren que esta hormona juega un rol relevante en el proceso de maduración (Fuentes et al., 2019). Frutos inmaduros en estado verde (Figueroa et al., 2008) sumergidos por 5 min en 13 mM ácido 2-cloroetil fosfónico (ethephon; el cual es convertido a etileno por los tejidos vegetales), o sin tratar, fueron incubados a través de sus pedúnculos en una solución nutritiva y monitoreados durante 216 h a 24°C. En los frutos tratados, se observó tanto la inhibición de la síntesis de antocianinas, como la represión de genes involucrados en este proceso. Asimismo, se estimuló la producción de lignina— indicador de aumento de la firmeza— mediante el incremento en la expresión del gen *POD27*, clave en la síntesis de este compuesto (Figueroa et al., 2021).

El regulador de crecimiento metil jasmonato (MeJa) ha demostrado tener influencia sobre el proceso de maduración de *F. chiloensis*. Aplicaciones de 10 y 100 μ M MeJa fueron evaluadas en frutos almacenados por hasta 9 d. Los frutos tratados mostraron una maduración acelerada, reflejada en

incrementos en el contenido de sólidos solubles, mayor acumulación de antocianinas y reducción de la firmeza. Esto se correlacionó con una mayor expresión de los genes involucrados en la ruta metabólica de antocianinas, y del metabolismo de pared celular. De esta misma manera, la aplicación de MeJa estimuló la producción de etileno y producción de lignina (Concha et al., 2013).

La hormona auxina juega un rol fundamental en el proceso de maduración de frutos no climatéricos (Pérez-Llorca et al., 2019), incluida la frutilla chilena. La auxina sintética ácido naftalenacético (NAA) fue aplicada a concentración de 1 mM sobre frutos de *F. chiloensis*, los cuales fueron almacenados a 20°C por 24 h. Este tratamiento redujo la expresión de los genes *EXP1* y *EXP2*, relacionados con la producción de expansinas, enzimas involucradas en la degradación de la pared celular durante la maduración (Figueroa et al., 2009).

El ácido abscísico (ABA) es una hormona responsable de numerosos procesos en el crecimiento y desarrollo vegetal (Brookbank et al., 2021; Xiong et al., 2021), y que en la última década ha sido investigado por su involucramiento en el proceso de maduración de frutos climatéricos y no climatéricos (Xiong et al., 2021). El tratamiento de frutos de *F. chiloensis* con 1mM ABA, seguido de almacenamiento a 20°C por 24 h indujo la reducción de la firmeza y desarrollo de color superficial. Los valores de firmeza se correlacionaron negativamente (coeficientes de correlación de Pearson entre -0,48 y -0,98) con la expresión de genes asociados a la degradación de pared celular y a factores de transcripción involucrados en la síntesis y percepción de ABA (Mattus-Araya et al., 2023; Moya-León et al., 2023).

En otro reporte, se aplicaron las hormonas auxina, ABA, giberelinas y etileno sobre los frutos y se monitoreó la expresión de los genes relacionados con la degradación de la pared celular, *XTH1* y *XTH2*, los cuales codifican la enzima xiloglucano endotransglicosilasa/hidrolasa. Los resultados revelaron que la aplicación de auxina, ABA, y giberelina estimuló la expresión de estos genes, mientras que el etileno la inhibió (Opazo et al., 2013).

Atributos de calidad

La calidad del producto a nivel de consumidor corresponde a un conjunto de características que determinan su aceptabilidad, las cuales pueden ser evaluadas directamente por los consumidores a través de los atributos sensoriales e indirectamente por el valor nutricional (Costa, 2019). En frutas y hortalizas, los parámetros de calidad dependen de las condiciones previas a la cosecha, como la edad de la planta, el ambiente

y las técnicas del cultivo, así como el manejo en postcosecha (Di Vittori et al., 2018).

La frutilla chilena posee una tasa respiratoria que fluctúa entre $1\text{-}2,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a 20°C (Molinett et al., 2021). Como en otros frutos del género *Fragaria*, su alta tasa respiratoria y la presencia de una fina epidermis contribuye a una pérdida significativa de vapor de agua y peso fresco, y a una elevada tasa de deterioro postcosecha (Kader, 2002; Nishizawa et al., 2003; Hurtado et al., 2021).

El desarrollo y maduración de los frutos de *F. chiloensis* se divide en cuatro etapas distintivas visualmente. Su correcta identificación es importante para asegurar que el consumidor reciba un adecuado sabor, textura, apariencia y calidad nutricional, así como una calidad comercial óptima que permita el transporte y la manipulación de la fruta (Morales-Quintana y Ramos, 2019). La primera etapa (I) precede al inicio de la maduración, donde se presenta un receptáculo pequeño y aquenios verdes; en la segunda etapa (II), el tamaño del fruto aumenta y el color del receptáculo no varía, pero los aquenios se tornan rojos; en la tercera etapa (III), el fruto sigue aumentando de tamaño, el color del receptáculo cambia a blanco, y los aquenios conservan su color; y en la cuarta etapa (IV), la fruta está completamente madura con el receptáculo de color blanco-rosado y los aquenios rojos (Hancock et al., 1999; Figueroa et al., 2008).

El índice de madurez de un fruto es una medida usada para identificar una etapa particular del desarrollo y determinar el momento de la cosecha. En frutas no climatéricas como la frutilla chilena, que no mejorarán su calidad organoléptica después de la cosecha, la recolección en la etapa adecuada de madurez es esencial para una óptima calidad. En frutilla chilena destinada a consumo fresco, el índice de madurez se basa en el color superficial. El fruto debe presentar 2/3 a 3/4 de la superficie de color rosado pálido (Figueroa et al., 2008). Los frutos se cosechan con cáliz y con una pequeña parte del pedúnculo adherido (Lavín y Maureira, 2000).

Los atributos organolépticos de los frutos de *F. chiloensis* exhiben cambios dramáticos a lo largo del proceso de maduración cuando se encuentran adheridos a la planta, los cuales son descritos a continuación.

Apariencia

La apariencia es uno de los atributos más relevantes al ser lo primero que el consumidor percibe y está relacionado con la aceptación y posible compra del producto (Jaeger et al., 2016).

El color de la fruta es un factor clave para atraer a los consumidores. En el género *Fragaria*,

el color está determinado por la acumulación de antocianinas, siendo los flavonoides los más abundantes (Roy et al., 2018). En la frutilla chilena, el color en el receptáculo va cambiando a medida que madura, desde verde a blanco-rosáceo, mientras que los aquenios se tornan rojos cuando están completamente maduros en la etapa IV (Hancock et al., 1999). Durante este período, predomina la presencia de cianidina-3-glucósido (C3G), con valores cercanos a los $600 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco, seguida de pelargonidina-3-glucósido (P3G), con $300 \mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco, sin embargo, la principal antocianina es C3G, la cual está presente en todas las etapas de desarrollo del fruto a raíz de la temprana pigmentación de los aquenios. Por su parte, P3G es el pigmento responsable del color rojo en el género *Fragaria*. En la frutilla chilena, se vuelve ligeramente rosada en la etapa final de desarrollo de la fruta, lo que indica una ligera acumulación de este pigmento (Salvatierra et al., 2013). Estudios señalan que la divergencia en la coloración entre la frutilla chilena y frutilla roja se relaciona con la acción de represores transcripcionales en la ruta biosintética de las antocianinas y proantocianidinas, tales como *MYB1*, el cual se encuentra más expresado en *F. chiloensis* que en *F. x ananassa* (Saud et al., 2009; Salvatierra et al., 2013).

Al comparar los perfiles transcripcionales de genes involucrados en la producción de flavonoides en dos formas botánicas de *F. chiloensis* spp. *chiloensis* (formas *chiloensis* y *patagonica*), se detectaron diferencias que coincidieron con los contenidos de antocianinas (Salvatierra et al., 2010), lo cual resalta la heterogeneidad observada en este fruto.

En cuanto a las características físicas de la frutilla chilena, es un fruto de forma globosa, que, a pesar de la baja diversidad genética que presenta la especie (Becerra et al., 2001), exhibe una alta heterogeneidad en su tamaño (Maureira et al., 1996; Mora et al., 2019). En el caso de la fruta silvestre, su peso oscila entre 1 a 2 g, pero en condiciones domesticadas se encuentra entre 6 a 14 g (Figueroa et al., 2008). La altura y el diámetro del fruto aumentan progresivamente a lo largo de las distintas etapas de maduración, llegando a un tamaño de 2 a 3 cm de diámetro por 2 a 4 cm de altura en la etapa IV (Lavín y Maureira, 2000; Mora et al., 2019).

Sabor

Existen diversos factores que influyen en el sabor de una fruta, pero sin duda, el dulzor y la acidez son los más relevantes al ser indicadores clave de la madurez y la calidad (Ikegaya et al., 2019).

El dulzor depende de las concentraciones

de azúcares, y es expresado como contenido de sólidos solubles a través de los grados Brix ($^{\circ}$ Brix), donde un grado Brix equivale a 1 gramo de sacarosa en 100 gramos de solución (Jaywant et al., 2022). En *F. chiloensis*, al momento de cosecha, se registraron valores promedio entre 8-11,5 $^{\circ}$ Brix (Maureira et al., 1996; Lavín y Maureira, 2000). En esta especie, los azúcares predominantes son sacarosa, fructosa y glucosa, cuyo contenido varía durante la maduración del fruto. Glucosa y fructosa logran su nivel máximo en la etapa III, con valores aproximados de 24 y 35 mg g $^{-1}$ de peso fresco, respectivamente, en cambio, la sacarosa alcanza su máximo contenido en la etapa IV con 21 mg g $^{-1}$ de peso fresco, lo que está relacionado directamente con la percepción del sabor (Nishizawa et al., 2005).

La acidez está determinada por la concentración de ácidos orgánicos presentes en la fruta, de los cuales el ácido cítrico es el predominante en la frutilla chilena (Pérez et al., 1998; Garriga et al., 2015). El nivel de acidez se expresa como acidez titulable o pH, y su valor varía durante la maduración del fruto. Se considera generalmente que la fruta es más sabrosa cuando su acidez es menor, pero sin alcanzar niveles excesivamente bajos, ya que la acidez también es importante para la conservación de la fruta y para su sabor (Ikegaya et al., 2019; Alabd et al., 2023). En *F. chiloensis*, durante la etapa de cosecha (III-IV), el pH fluctúa entre 3 a 4, y la acidez titulable alcanza valores cercanos a 10 Meq de ácido cítrico por 100 g de peso fresco (Maureira et al., 1996; Lavín y Maureira, 2000; Garriga et al., 2015).

Aroma

El aroma y el olor característico de cualquier fruta está determinado por la presencia de compuestos volátiles, cuya producción aumenta o disminuye dependiendo de las condiciones previas a la cosecha, en la madurez y en el manejo en postcosecha (Distefano et al., 2022; Zhang et al., 2023). La frutilla chilena destaca por un aroma muy característico y agradable que lidera la preferencia del consumidor frente a la frutilla roja según algunos estudios (Prat et al., 2014).

En *F. chiloensis*, los principales compuestos volátiles corresponden a ésteres, alcoholes y cetonas, los que destacan por otorgar notas frutadas y caramelizadas al fruto. Los ésteres más abundantes en frutos maduros son acetato de butilo, acetato de etilo, butanoato de etilo y hexanoato de etilo; en los alcoholes predominan el butanol, hexanol y heptanol; y en las cetonas, principalmente la heptanona. Las concentraciones de los compuestos volátiles en la frutilla chilena son muy variables entre las etapas de madurez del fruto. Los principales ésteres

aumentan mientras madura el fruto, logrando su mayor contenido en la etapa IV. Los alcoholes disminuyen progresivamente, alcanzando el menor nivel en la etapa IV. De manera particular, los alcoholes butanol y hexanol disminuyen durante la maduración, mientras que el heptanol aumenta. Por otra parte, cetonas como la heptanona, mantienen su contenido (González et al., 2009; Prat et al., 2014).

Un estudio realizado en frutos maduros de *F. chiloensis* cosechados desde dos localidades (Purén y Contulmo) en el sur de Chile en dos temporadas (2017 y 2018) reveló diferencias significativas en las concentraciones de compuestos volátiles. En la temporada 2017, los compuestos detectados en mayor concentración fueron *D*-carvona, anetola, benzil alcohol, 3-fenilpropanol y 3-fenilpropanal en ambas localidades. Sin embargo, en la cosecha 2018, 2-heptanona, 1-hepten-3-ona, 1-hexin-3-ol, 1-hexanol y estragol se presentaron en mayores niveles en Contulmo, y 2-hexenal, 1-hepten-3-ona, benzil alcohol, 3-fenilpropanol y 3-fenilpropanal en Purén. Los autores destacaron que algunos compuestos solamente fueron detectados durante la cosecha 2017 (Noriega et al., 2021).

Valor nutricional

El valor nutricional de un alimento es un indicador del contenido de nutrientes que aporta para satisfacer los requerimientos del consumidor (Jaiswal, 2020). En frutos, la calidad nutricional está relacionada con el contenido de una diversa gama de fitoquímicos (Di Vittori et al., 2018). Los frutos de *F. chiloensis* son apetecidos por los consumidores ya que presentan un buen sabor, y una gama de micronutrientes que son beneficiosos para la salud. Estos frutos presentan un alto contenido de compuestos fenólicos (Simirgiotis et al., 2009), como las proantocianidinas y taninos hidrolizables a base de ácido elágico, así como los glucósidos flavonoides de la quercetina y el kaempferol (Schmeda. et al., 2011; Noriega et al., 2021). El ácido elágico es el principal compuesto fenólico de la frutilla chilena (5,9 mg g $^{-1}$), superando en concentración de la frutilla roja (0,54 mg g $^{-1}$) (Simirgiotis y Schmeda-Hirschmann, 2010). El ácido elágico tiene efectos potenciadores para la salud humana debido a sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes y antibacterianas (Evyugin et al., 2020). También es importante señalar que los aquenios contienen más ácido elágico que la pulpa (Aaby et al., 2005; Cheel et al., 2007; Salvatierra et al., 2014).

Un estudio pionero caracterizó la composición y bioactividad de extractos concentrados de polifenol obtenidos desde *F. chiloensis* spp. *chiloensis f. patagonica* a través de una simulación de digestión gastrointestinal. Se observó que

el contenido total de compuestos fenólicos, flavonoles totales, así como la actividad antioxidante y la actividad inhibitoria de las enzimas α -glucosidasa y lipasa disminuyeron como resultado de la digestión tanto gástrica como intestinal. Estos resultados contribuirán a avanzar en el entendimiento de los beneficios de este fruto sobre la salud humana (Thomas-Valdés et al., 2019).

Firmeza

La firmeza es un parámetro esencial para la calidad de la fruta, ya que condiciona la percepción sensorial del consumidor. Los consumidores buscan frutas no demasiado duras ni blandas, ya que puede afectar la intención de comprar el producto (Contador et al., 2015). La firmeza se relaciona con la resistencia mecánica impuesta por la pared celular, y está vinculada a los cambios físicos-químicos y estructurales durante el desarrollo y maduración de la fruta (Tian y Xu, 2023). También representa una medida de la resistencia al daño mecánico durante el manejo postcosecha y está influenciada por el momento y método de recolección y por la temperatura de almacenamiento (Ahmad y Siddiqui, 2015; Kumar et al., 2018).

En *F. chiloensis*, la firmeza varía a lo largo del desarrollo y la maduración del fruto, en donde, en las primeras etapas (I y II), los frutos son duros y muy firmes, con valores de 2,2 y 0,5 kg cm⁻², respectivamente, pero a medida que el fruto crece y desarrolla el color, se observa una rápida disminución de este parámetro. Entre las etapas II a III, experimenta su mayor reducción, alcanzando el nivel mínimo en la etapa IV, inferior a 0,5 kg cm⁻² (Figueroa et al., 2008; Nishizawa et al., 2019). La solubilización y la despolimerización de la pared celular son los principales responsables de la pérdida de firmeza, o ablandamiento del fruto, lo que contribuye a la corta vida postcosecha de la frutilla chilena, limitando así su comercialización y afectando su consumo (Figueroa et al., 2008; Moya-León et al., 2019).

Proceso de ablandamiento de frutos de *Fragaria chiloensis*

El proceso de ablandamiento durante la maduración organoléptica de frutos del género *Fragaria* está bajo el control de hormonas como el ácido abscísico, auxinas, giberelinas, ácido jasmónico, brasinosteroides, e incluso etileno, además de complejos reguladores a nivel molecular, que determinan la acción de enzimas (Fan et al., 2022). Los eventos que influyen el ablandamiento incluyen principalmente el desmontaje y degradación de los polisacáridos que conforman la pared celular y una

disminución de la adhesión intercelular (Jia et al., 2023). Estos eventos conllevan a un aflojamiento de la red xiloglucano-celulosa, la solubilización y despolimerización de la pectina y la pérdida de azúcares neutros de cadenas laterales de las pectinas (Shi et al., 2023).

En el género *Fragaria*, el ablandamiento se debe a una despolimerización leve y a una solubilización moderada de la pared celular. Estos cambios físicos, junto con el aumento del tamaño de los poros provocado por la pérdida de cadenas laterales, hacen que la estructura de la pared sea más fácil de degradar por las enzimas (Ramos et al., 2018; Zhang et al., 2020; Castro et al., 2021). No obstante, no se rechaza la participación de las hemicelulosas en el ablandamiento, ya que se ha observado una leve despolimerización de este componente (Figueroa et al., 2010).

Numerosos reportes señalan que la frutilla chilena presenta mayores niveles de ablandamiento que la frutilla roja. Esto se evidencia en la mayor concentración de ácido urónico—componente de las pectinas—en *F. chiloensis* que en *F. x ananassa*, particularmente en la fracción hidrosoluble, lo cual es un indicador de la degradación de la pared celular (Nishizawa et al., 2019). Tanto en *F. x ananassa* como en *F. chiloensis* se ha observado una disminución rápida de la firmeza entre las etapas II y III, sin embargo, la mayor reducción ha sido registrada en *F. chiloensis* (Figueroa et al., 2008). En *F. chiloensis*, la mayor solubilización de las pectinas ocurre en la fracción ramnogalacturano I (RG-I), y, además, se ha observado que hay cambios significativos en el contenido de los azúcares arabinosa y galactosa (González, 2012; Méndez-Yañez et al., 2020).

Simultáneamente, se produce un aumento en la actividad de las enzimas modificadoras de la pared celular. Al comparar frutos de *F. chiloensis* y *F. x ananassa*, se observa una mayor actividad enzimática en la primera (Figueroa et al., 2010). Tanto en la frutilla chilena como en la frutilla roja, la actividad enzimática de poligalacturonasa (PG), α -arabinofuranosidasa (AFasa), β -galactosidasa (β Gal), endo-glucanasa (EGasa), β -xilosidasa (β -Xil), xiloglucano endotransglicosilasa/hidrolasa (XTH) y ramnogalacturonano liasa (RG-liasa) aumentaron a medida que el fruto maduró y contribuyeron a su ablandamiento (Figueroa et al., 2010). Esto promovió el desmantelamiento de la pared celular, mientras que las expansinas (EXP) permitieron el ingreso de otras enzimas presentes (Ramos et al., 2018; Valenzuela-Riffo et al., 2019). Sin embargo, la mayoría de las actividades enzimáticas fueron más altas en *F. chiloensis* que en *F. x ananassa*, con excepción de pectinmetilesterasa (PME) y pectato liasa (PL), lo que se relaciona con una mayor tasa

de ablandamiento de la frutilla chilena (Méndez-Yañez et al., 2020).

En el caso particular de *F. chiloensis*, entre las etapas II a III hubo una disminución de aproximadamente un 30% en la cantidad de pectinas totales, lo que estaría asociado a la pérdida de azúcares neutros, observándose una mayor despolimerización en la etapa final de la maduración (Figueroa et al., 2008). La mayor solubilización fue determinada en la zona donde se encuentra RG-I. Asimismo, el contenido de galactanos de RG-I varió de forma notable en la frutilla chilena, fenómeno que no fue observado en la frutilla roja (Méndez-Yañez et al., 2020), lo cual también podría explicar la diferencia en las tasas de ablandamiento de ambas especies.

Se ha observado que, a nivel transcripcional, tanto *F. x ananassa* como *F. chiloensis*, exhiben diferentes respuestas a la inoculación de fruta madura con el patógeno de postcosecha *Botrytis cinerea*, el cual es responsable de macerar los tejidos y causar pudriciones (González et al., 2013). Esto sugiere la presencia de distintos mecanismos asociados a la degradación de la pared celular en respuesta a estrés biótico entre ambas especies. La diversidad genética en frutos de *F. chiloensis* obtenidos en regiones del Centro-Sur de Chile, puede explicar las respuestas diferenciadas al ataque de *B. Cinerea* (González et al., 2009).

Manejo postcosecha e intervenciones emergentes en *Fragaria chiloensis*

La escasa implementación de métodos y tecnologías para el manejo de postcosecha constituye uno de los principales problemas que afecta a este cultivo (Céspedes, 2018). La frutilla chilena se distingue por su sabor y sus propiedades únicas, pero tiene una vida útil inferior a 4 días después de la cosecha debido a la pérdida de firmeza, pérdida de peso y al ataque de microorganismos patógenos (Figueroa et al., 2008). No obstante, algunos estudios se han centrado en aumentar la vida útil en postcosecha y en el control de la degradación de la pared celular.

Las recomendaciones para el manejo en postcosecha de la frutilla chilena comienzan al momento de la cosecha. La recolección de los frutos se debe realizar por las mañanas cuando la temperatura es baja, pero evitando el rocío. Se debe evitar la excesiva manipulación del fruto, para así reducir el daño mecánico, el cual aumenta la tasa de deterioro. El camino por el que circula el recolector debe estar húmedo para evitar la contaminación por polvo. Inmediatamente posterior a la cosecha, es necesario mantener un control adecuado de la temperatura de

almacenamiento. Se recomienda acopiar la fruta en un lugar fresco, sombreado o en una cámara de frío, protegiéndola de la exposición solar (Lavín y Maureira, 2000).

El uso de atmósferas modificadas (AM) a través del envasado con películas plásticas representa un método alternativo para extender el período de postcosecha de frutilla chilena. Un estudio evaluó la efectividad de las bolsas AM en la conservación de las propiedades sensoriales de este fruto durante el almacenamiento a 0°C con una humedad relativa (HR) del 90% por 11 d. Se utilizaron tres tratamientos: (T1) fruta almacenada en bolsa, (T2) fruta pre-enfriada a una temperatura de pulpa de 2°C y almacenada en bolsa, y el control sin bolsa. En T1, el nivel de oxígeno (O₂) disminuyó a un 13,9%, mientras que el dióxido de carbono (CO₂) aumentó a 3,9%. En T2, el O₂ se redujo al 15,5%, y el CO₂ aumentó hasta 2,7%. Esto se asoció a una mayor actividad respiratoria en T1, sin embargo, T1 y T2 lograron minimizar la perecibilidad de la fruta y conservar sus cualidades organolépticas con relación al control (Loyola et al., 2008). En otro estudio, se determinó que frutos almacenados en diferentes tipos de envase, film 1 (PD-961) y film 2 (E-bag), por 12 d a 4°C, exhibieron una vida útil más larga que el control sin bolsa. Las frutas envasadas presentaron mayor firmeza, capacidad antioxidante y proantocianidinas que el control, sin embargo, reportaron reducciones significativas en el contenido total de volátiles responsables del aroma, lo que fue detectado por un panel sensorial (Valdenegro et al., 2010).

Diversos estudios se han centrado en reducir la degradación de la pared celular posterior a la cosecha con el fin de prolongar la vida útil de la frutilla chilena y mejorar su calidad. Existe evidencia del uso de aplicaciones de calcio y auxina solos o en combinación. Frutos tratados con cloruro de calcio (CaCl₂) en concentración 2% (m/v) presentaron menor solubilización de pectinas, expresado en un mayor contenido de pectinas unidas iónicamente, que el control tratado con agua durante el almacenamiento a 2°C por 5 d, fortaleciendo así la pared celular y evitando su degradación. Por otra parte, el tratamiento con la auxina sintética ANA a 1 mmol, resultó en la menor expresión de genes modificadores de pared celular durante la refrigeración. Calcio y ANA por sí solos redujeron la degradación normal de la pared celular, sin embargo, su combinación redujo significativamente y en mayor nivel la expresión de los genes PG, PL y EGasa, en comparación con los tratamientos individuales. La aplicación combinada de calcio y ANA no aumentó significativamente la firmeza, pero sí mantuvo valores de peso fresco más altos

que el control (Figuroa et al., 2012).

Metil jasmonato (MeJa) y quitosano (Qui) son compuestos amigables con el medio ambiente, pudiendo ser alternativas a las aplicaciones con fungicidas químicos para el control del deterioro en postcosecha (Betchem et al., 2019; Wang et al., 2021). La aplicación individual de 0,25 mM MeJa o 1,5% (m/v) Qui en diferentes estados de desarrollo antes de la cosecha, fueron favorables para la calidad de la frutilla chilena. Las frutas tratadas tuvieron mayor firmeza, contenido de antocianinas y lignina (indicador de aumento de firmeza) durante el almacenamiento a 22°C, previniendo el desarrollo del patógeno causante de la pudrición gris, *Botrytis cinerea*, hasta por 3 d, en comparación al tratamiento control con agua (Saavedra et al., 2016). En otro estudio, se examinaron plantas infectadas con *B. cinerea* previamente tratadas con MeJa o Qui. Los frutos obtenidos desde plantas tratadas tuvieron menor pudrición gris, con una menor incidencia asociada a MeJa (33%) en comparación con Qui (67%). Además, la aplicación de Qui tuvo efectos beneficiosos sobre las respuestas de defensa y las actividades enzimáticas relacionadas con la resistencia a enfermedades durante el almacenamiento postcosecha (Saavedra et al., 2017).

El sulfuro de hidrógeno (H₂S) ha sido propuesto como una molécula de señalización responsable de activar procesos fisiológicos de defensa (Vojtovič et al., 2021). La aplicación de 0,2 mM de H₂S prolongó la vida postcosecha de frutilla chilena aproximadamente una semana al reducir la incidencia de pudriciones y la tasa de ablandamiento durante el almacenamiento a 20°C. En los frutos tratados, la firmeza fue mayor que en los no tratados (1,61 N versus 0,76 N), al retrasar la solubilización de la pectina y regular la expresión de los genes implicados en la despolimerización de pectina y de la hemicelulosa (Molinet et al., 2021).

CONCLUSIONES

La frutilla chilena (*Fragaria chiloensis*) es una especie nativa de Chile de relevancia para la agricultura familiar campesina de la zona Sur del país. El órgano de consumo de esta especie es un falso fruto o eterio, el cual posee un sabor y aroma distintivo, apreciado por los consumidores locales.

La frutilla chilena es un fruto no climatérico que experimenta cambios significativos en la calidad organoléptica y nutricional como resultado del proceso de maduración, el cual es interrumpido al momento de la cosecha. Dentro de los atributos de calidad, la firmeza determina

la vida postcosecha e influye en la capacidad de comercialización y aceptabilidad del producto por parte de los consumidores. La frutilla chilena posee una alta tasa de ablandamiento o de pérdida de firmeza, la cual está asociada a la elevada actividad de las enzimas modificadoras de la pared celular, incluidas la poligalacturonasa, β-galactosidasa y endo-glucanasa, las cuales solubilizan y degradan las fracciones pectina y hemicelulosa.

La aplicación de tratamientos en pre o postcosecha, tales como envasado en atmósferas modificadas, y aplicaciones externas de calcio, auxinas, etileno, ácido abscísico, metil jasmonato, quitosano y sulfuro de hidrógeno han aportado información sobre las bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares del proceso de maduración de la frutilla chilena en la planta, y también sobre los cambios en los atributos calidad ocurridos después de la cosecha.

Actualmente, la frutilla chilena es un cultivo marginal en Chile. La amplia distancia entre los centros productivos y urbanos, además de la escasa incorporación de tecnología en el manejo productivo y postcosecha, limitan el potencial de comercialización. Estos factores, sumados a la reducida vida postcosecha del fruto, resaltan la necesidad de intensificar la investigación orientada a la mantención de su calidad organoléptica y nutricional.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen las valiosas contribuciones al artículo hechas por la Doctora Macarena Farcuh (University of Maryland, Estados Unidos) y el Profesor Pablo Muñoz (Chile).

Contribución de autores

Ambos autores del artículo participaron activamente en la revisión bibliográfica, discusión de los resultados y en la revisión y aprobación de la versión final del artículo. Karin Albornoz fue responsable de elaborar la metodología.

LITERATURA CITADA

Aaby, K., G. Skrede and R.E. Wrolstad. 2005. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria x ananassa*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(10): 4032–4040. doi:10.1021/jf048001o

- Adasme, C., A. Spiller, and J. Diaz. 2006. Determinación de Preferencias Del Consumidor de La Región Metropolitana Hacia La Frutilla Blanca (*Fragaria chiloensis*). Un Análisis Conjunto y Una Prueba Sensorial. *Research in Agricultural & Applied Economics* 10: 1–10. doi:10.22004/ag.econ.97351.
- Ahmad, M. S., and M. W. Siddiqui. 2015. Factors Affecting Postharvest Quality of Fresh Fruits. *Postharvest Quality Assurance of Fruits*. Springer, Cham: 7–32. doi:10.1007/978-3-319-21197-8_2.
- Alabd, A., J. Ni, S. Bai, Y. Teng, A. Alabd, J. Ni, S. Bai, and Y. Teng. 2023. Transcriptional Coregulation of Anthocyanin Accumulation and Acidity in Fruits. *Fruit Research* 2024 1:E005 4 (1). Maximum Academic Press: 1–8. doi:10.48130/FRURES-0023-0041.
- Becerra, V. V., M. C. Paredes, and A. O. and L. A. A. Romero. 2001. Biochemical and Molecular Diversity in Chilean Strawberries (*Fragaria chiloensis* L. Duch.) and Its Implication for Genetic Improvement of the Species. *Agricultura Técnica* 61 (4). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA: 413–428. <http://www.bioline.org.br/request?at01043>
- Betchem, G., N. A. N. Johnson, and Y. Wang. 2019. The Application of Chitosan in the Control of Post-Harvest Diseases: A Review. *Journal of Plant Diseases and Protection* 126 (6). Springer Berlin Heidelberg: 495–507. doi:10.1007/S41348-019-00248-2/FIGURES/3.
- Brookbank, B. P., J. Patel, S. Gazzarrini, and E. Nambara. 2021. Role of Basal ABA in Plant Growth and Development. *Genes* 2021, Vol. 12, Page 1936 12 (12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1936. doi:10.3390/GENES12121936.
- Carrasco-Orellana, C., Y. Stappung, A. Mendez-Yañez, A. C. Allan, R. V. Espley, B. J. Plunkett, M. A. Moya-Leon, and R. Herrera. 2018. Characterization of a Ripening-Related Transcription Factor FcNAC1 from *Fragaria chiloensis* Fruit. *Scientific Reports* 2018 8:1 8 (1). Nature Publishing Group: 1–12. doi:10.1038/s41598-018-28226-y.
- Castro, R. I., M. Muñoz-Vera, C. Parra-Palma, F. Valenzuela-Riffo, C. R. Figueroa, and L. Morales-Quintana. 2021. Characterization of Cell Wall Modification through Thermogravimetric Analysis during Ripening of Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*) Fruit. *Cellulose* 28 (8). Springer Science and Business Media B.V.: 4611–4623. doi:10.1007/S10570-021-03806-W
- Céspedes, M. C. 2017. Frutilla Blanca: Diferencias de Manejo Para La Producción de Plantas y Fruta. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4832>
- Céspedes, M. C. 2018. Rescate y Valorización de La Frutilla Blanca En El Territorio de Nahuelbuta. FIA. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6658>
- Cheel, J., C. Theoduloz, J.A. Rodríguez, P.D. Caligari, and G. Schmeda-Hirschmann. 2007. Free radical scavenging activity and phenolic content in achenes and thalamus from *Fragaria chiloensis* ssp. *chiloensis*, *F. vesca* and *F. x ananassa* cv. Chandler. *Food Chemistry*, 102(1): 36-44. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.036
- Cherian, S., C. R. Figueroa, and H. Nair. 2014. 'Movers and Shakers' in the Regulation of Fruit Ripening: A Cross-Dissection of Climacteric versus Non-Climacteric Fruit. *J Exp Bot* 65 (17). Oxford Academic: 4705–4722. doi:10.1093/JXB/ERU280.
- Concha, C. M., N. E. Figueroa, L. A. Poblete, F. A. Oñate, W. Schwab, and C. R. Figueroa. 2013. Methyl Jasmonate Treatment Induces Changes in Fruit Ripening by Modifying the Expression of Several Ripening Genes in *Fragaria chiloensis* Fruit. *Plant Physiology and Biochemistry* 70 (September). Elsevier Masson: 433–444. doi:10.1016/J.PLAPHY.2013.06.008.
- Contador, L., P. Shinya, and R. Infante. 2015. Texture Phenotyping in Fresh Fleshy Fruit. *Sci Hort* 193 (September). Elsevier: 40–46. doi:10.1016/J.SCIENTA.2015.06.025.
- Contigiani, E. V., G. Jaramillo-Sánchez, M. A. Castro, P. L. Gómez, and S. M. Alzamora. 2018. Postharvest Quality of Strawberry Fruit (*Fragaria x ananassa* Duch Cv. Albion) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. *Food Bioproc Tech* 11 (9). Springer New York LLC: 1639–1650. doi:10.1007/S11947-018-2127-0
- Costa, G. 2019. Fruit Quality: Updated Definition and Modern Methods of Assessment. *Rev. Italus Hortus* 26: 41–49. doi: 10.26353/j.itahort/2019.1.4149
- Distefano, M., R. P. Mauro, D. Page, F. Giuffrida, N. Bertin, and C. Leonardi. 2022. Aroma Volatiles in Tomato Fruits: The Role of Genetic, Preharvest and Postharvest Factors. *Agronomy* 2022, Vol. 12, Page 376 12 (2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 376. doi:10.3390/AGRONOMY12020376.

- Evtugin, D. D., S. Magina, and D. V. Evtugin. 2020. Recent Advances in the Production and Applications of Ellagic Acid and Its Derivatives. A Review. *Molecules* 2020, Vol. 25, Page 2745 25 (12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 2745. doi:10.3390/MOLECULES25122745.
- Fan, D., W. Wang, Q. Hao, and W. Jia. 2022. Do Non-Climacteric Fruits Share a Common Ripening Mechanism of Hormonal Regulation? *Front Plant Sci* 13 (June). Frontiers Media S.A.: 923484. doi:10.3389/FPLS.2022.923484/BIBTEX.
- Figueroa, C., C. M. Concha, N. E. Figueroa, and G. Tapia. 2018. Frutilla Chilena Nativa *Fragaria chiloensis*. https://www.procisur.org.uy/adjuntos/13d4953eae2f_Chilena_PROCISUR.pdf
- Figueroa, C., M. C. Opazo, P. Vera, O. Arriagada, M. Díaz, and M. A. Moya-León. 2012. Effect of Postharvest Treatment of Calcium and Auxin on Cell Wall Composition and Expression of Cell Wall-Modifying Genes in the Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*) Fruit. *Food Chem* 132 (4): 2014–2022.
- Figueroa, C., P. Pimentel, C. Gaete-Eastman, M. Moya, R. Herrera, P. D. S. Caligari, and M. A. Moya-León. 2008. Softening Rate of the Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*) Fruit Reflects the Expression of Polygalacturonase and Pectate Lyase Genes. *Postharvest Biol Technol* 49 (2). Elsevier: 210–220. doi:10.1016/J.POSTHARVBIO.2008.01.018.
- Figueroa, C. R., P. Pimentel, M. C. Dotto, P. M. Civello, G. A. Martínez, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2009. Expression of Five Expansin Genes during Softening of *Fragaria chiloensis* Fruit: Effect of Auxin Treatment. *Postharvest Biol Technol* 53 (1–2). Elsevier: 51–57. doi:10.1016/J.POSTHARVBIO.2009.02.005.
- Figueroa, C., H. G. Rosli, P. M. Civello, G. A. Martínez, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2010. Changes in Cell Wall Polysaccharides and Cell Wall Degrading Enzymes during Ripening of *Fragaria chiloensis* s and *Fragaria ×ananassa* Fruits. *Sci Hort* 124 (4). Elsevier: 454–462. doi:10.1016/J.SCIENTA.2010.02.003.
- Figueroa, N., C. Gatica-Meléndez, and C. R. Figueroa. 2021. Ethylene Application at the Immature Stage of *Fragaria chiloensis* Fruit Represses the Anthocyanin Biosynthesis with a Concomitant Accumulation of Lignin. *Food Chem* 358 (October). Elsevier: 129913. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2021.129913.
- Finn, C. E., J. B. Retamales, G. A. Lobos, and J. F. Hancock. 2013. The Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*): Over 1000 Years of Domestication. *HortScience* 48 (4). American Society for Horticultural Science: 418–421. doi:10.21273/HORTSCI.48.4.418.
- Fredes, C. 2009. Antioxidantes En Berries Nativos Chilenos. *Bol Latinoam Caribe Plantas Med Aromat* 8 (6). Universidad de Santiago de Chile: 469–478. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461003>
- Fuentes, L., C. R. Figueroa, and M. Valdenegro. 2019. Recent Advances in Hormonal Regulation and Cross-Talk during Non-Climacteric Fruit Development and Ripening. *Horticulturae* 2019, Vol. 5, Page 45 5 (2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 45. doi:10.3390/HORTICULTURAE5020045.
- Garriga, M., C. A. Muñoz, P. D. Caligari and J. B. Retamales. 2015. Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria ×ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195: 37–47. doi:10.1016/j.scienta.2015.08.036
- Giovannoni, J., C. Nguyen, B. Ampofo, S. Zhong, and Z. Fei. 2017. The Epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening 68 (April). *Annual Reviews*: 61–84. doi:10.1146/ANNUREV-ARPLANT-042916-040906.
- González, G., M. Moya, C. Sandoval, and R. Herrera. 2009. Genetic Diversity in Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*): Differential Response to *Botrytis cinerea* Infection. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7 (4): 886–895. doi:10.5424/SJAR/2009074-1102
- González, G., L. Fuentes, M. A. Moya-León, C. Sandoval, and R. Herrera. 2013. Characterization of Two PR Genes from *Fragaria chiloensis* in Response to *Botrytis cinerea* Infection: A Comparison with *Fragaria ×ananassa*. *Physiol Mol Plant Pathol* 82 (April). Academic Press: 73–80. doi:10.1016/J.PMPP.2013.02.001.
- González, M., C. Gaete-Eastman, M. Valdenegro, C. R. Figueroa, L. Fuentes, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2009. Aroma Development during Ripening of *Fragaria chiloensis* Fruit and Participation of an Alcohol Acyltransferase (*FcAAT1*) Gene. *J Agric Food Chem* 57 (19). American Chemical Society: 9123–9132. doi:10.1021/jf901693j
- González, S. 2012. Estudio de La Composición y Estructura de La Pared Celular de Los Frutos de *Fragaria chiloensis* y *Fragaria ×ananassa* cv Camarosa. <https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3299>

- Gundewadi, G., V. R. Reddy, and B. Bhimappa. 2018. Physiological and Biochemical Basis of Fruit Development and Ripening—a Review. *Journal of Hill Agriculture* 9 (1). Diva Enterprises Private Limited: 7. doi:10.5958/2230-7338.2018.00003.4.
- Hancock, J., A. Lavín, and J. B. Retamales. 1999. Our Southern Strawberry Heritage: *Fragaria chiloensis* of Chile. *HortScience* 34 (5). American Society for Horticultural Science: 814. doi:10.21273/HORTSCI.34.5.814
- Hancock, J., and H. Prince. 2021. Long-Distance Dispersal of the Beach Strawberry, *Fragaria chiloensis*, from North America to Chile and Hawaii. *Ann Bot* 127 (2). Oxford Academic: 223–229. doi:10.1093/AOB/MCAA165.
- Hurtado, G., E. Grimm, M. Bruggenwirth, and M. Knoche. 2021. Strawberry Fruit Skins Are Far More Permeable to Osmotic Water Uptake than to Transpirational Water Loss. *PLoS One* 16 (5). doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0251351.
- Ikegaya, A., T. Toyozumi, S. Ohba, T. Nakajima, T. Kawata, S. Ito, and E. Arai. 2019. Effects of Distribution of Sugars and Organic Acids on the Taste of Strawberries. *Food Sci Nutr* 7 (7). John Wiley & Sons, Ltd: 2419–2426. doi:10.1002/FSN3.1109.
- INDAP. 2024. Fichas Técnicas Para La Agricultura Familiar Campesina, Temporada 2023-2024. <https://www.indap.gob.cl/fichas-tecnicas>
- Jaeger, S. R., L. Antúnez, G. Ares, J. W. Johnston, M. Hall, and F. R. Harker. 2016. Consumers' Visual Attention to Fruit Defects and Disorders: A Case Study with Apple Images. *Postharvest Biol Technol* 116 (June). Elsevier: 36–44. doi:10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.12.015.
- Jaiswal, A. K. 2020. Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. Academic Press. doi:10.1016/C2016-0-04117-7
- Jaywant, S. A., H. Singh, and K. M. Arif. 2022. Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review. *Sensors* 2022, Vol. 22, Page 2290 22 (6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 2290. doi:10.3390/S22062290.
- Jia, K., W. Wang, Q. Zhang, and W. Jia. 2023. Cell Wall Integrity Signaling in Fruit Ripening. *International Journal of Molecular Sciences* 2023, Vol. 24, Page 4054 24 (4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 4054. doi:10.3390/IJMS24044054.
- Kader, A. A. 2002. Postharvest Biology and Technology: An Overview. In A.A. Kader (Ed.). *Postharvest Technology for Horticultural Crops*: 39-47. Oakland, CA: UCANR Publication 3311.
- Kouloumprouka Zacharaki, A., J. M. Monaghan, J. R. Bromley, and L. H. Vickers. 2024. Opportunities and Challenges for Strawberry Cultivation in Urban Food Production Systems. *Plants, People, Planet*. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/PPP3.10475.
- Kumar, S., M. Baghel, A. Yadav, and M. K. Dhakar. 2018. Postharvest Biology and Technology of Berries. *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits*. Springer, Cham, 349–370. doi:10.1007/978-3-319-76843-4_15.
- Lavín, A., and M. Maureira. 2000. La Frutilla Chilena de Fruto Blanco [*Fragaria chiloensis*]. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7230>
- Loyola, N., M. Barrera, and C. Acuña. 2008. Evaluación del uso de atmósfera modificada en *Fragaria chiloensis* L. ecotipo blanco. *Idesia (Arica)* 26 (3). Universidad de Tarapacá. Facultad de Ciencias Agronómicas: 57–69. doi:10.4067/S0718-34292008000300007.
- Mattus-Araya, E., J. Guajardo, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2022. ABA Speeds Up the Progress of Color in Developing *F. chiloensis* Fruit through the Activation of *PAL*, *CHS* and *ANS*, Key Genes of the Phenylpropanoid/Flavonoid and Anthocyanin Pathways. *Int J Mol Sci* 23 (7). MDPI: 3854. doi:10.3390/IJMS23073854/S1.
- Mattus-Araya, E., Y. Stappung, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2023. Molecular Actors Involved in the Softening of *Fragaria chiloensis* Fruit Accelerated by ABA Treatment. *J Plant Growth Regul* 42 (1). Springer: 433–448. doi:10.1007/S00344-021-10564-3/FIGURES/9.
- Maureira, M., A. Lavín, and L. Alejandro del Pozo. 1996. Caracterización fenotípica y fenológica de siete accesiones chilenas de *Fragaria chiloensis* (L.) Duch Phenologic and Phenotypic Characterization of Seven Chilean *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. Accessions. *Agricultura Técnica (Chile)* 56 (3): 201–210. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/27674>
- Méndez-Yañez, A., M. González, C. Carrasco-Orellana, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2020. Isolation of a Rhamnogalacturonan Lyase Expressed during Ripening of the Chilean Strawberry Fruit and Its Biochemical Characterization. *Plant Physiology and Biochemistry* 146 (January). Elsevier Masson: 411–419. doi:10.1016/J.PLAPHY.2019.11.041.

- Molinett, S. A., J. F. Alfaro, F. A. Sáez, S. Elgueta, M. A. Moya-León, and C. R. Figueroa. 2021. Postharvest Treatment of Hydrogen Sulfide Delays the Softening of Chilean Strawberry Fruit by Downregulating the Expression of Key Genes Involved in Pectin Catabolism. *Int J Mol Sci* 22 (18). MDPI: 10008. doi:10.3390/IJMS221810008/S1.
- Mora, F., P. E. Zúñiga, and C. R. Figueroa. 2019. Genetic Variation and Trait Correlations for Fruit Weight, Firmness and Color Parameters in Wild Accessions of *Fragaria chiloensis*. *Agronomy* 2019, Vol. 9, Page 506 9 (9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 506. doi:10.3390/AGRONOMY9090506.
- Morales-Quintana, L., and P. Ramos. 2019. Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*): An Integrative and Comprehensive Review. *Food Research International* 119 (May). Elsevier: 769–776. doi:10.1016/J.FOODRES.2018.10.059.
- Moya-León, María A., Y. Stappung, E. Mattus-Araya, and R. Herrera. 2023. Insights into the Genes Involved in ABA Biosynthesis and Perception during Development and Ripening of the Chilean Strawberry Fruit. *Int J Mol Sci* 24 (10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI): 8531. doi:10.3390/IJMS24108531/S1.
- Moya-León, María Alejandra, E. Mattus-Araya, and R. Herrera. 2019. Molecular Events Occurring during Softening of Strawberry Fruit. *Front Plant Sci* 10 (April). Frontiers Media S.A.: 452316. doi:10.3389/FPLS.2019.00615/BIBTEX.
- Muthukumar, S., C. Tranchant, J. Shi, X. Ye and S.J. Xue. 2017. Ellagic acid in strawberry (*Fragaria* spp.): Biological, technological, stability, and human health aspects. *Food Quality and Safety*, 1(4): 227-252. doi:10.1093/fqsafe/fyx023
- Nishizawa, T., Y. Kondo, T. Aikawa, J. B. Retamales, and A. Lavín. 2019. Comparison of the Changes in Texture and Cell Wall Polysaccharide Composition during Ripening of *Fragaria* × *ananassa* and *Fragaria chiloensis* Fruits. *Acta Hort* 1265. International Society for Horticultural Science: 121–127. doi:10.17660/ACTAHORTIC.2019.1265.17.
- Nishizawa, T., Y. Kondo, S. Nagasawa, J. B. Retamales, A. Lavín, and Y. Motomura. 2003. Storability and Its Relationship with the Anatomy of Epidermal Tissues of Ripe Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis*) Fruit. *Acta Hort* 626 (November). International Society for Horticultural Science: 355–360. doi:10.17660/ACTAHORTIC.2003.626.48.
- Nishizawa, T., S. Nagasawa, Y. Mori, Y. Kondo, Y. Sasaki, J. B. Retamales, and A. Lavín. 2005. Characteristics of Soluble Sugar Accumulation in Commercially Grown *Fragaria chiloensis*. *HortScience* 40 (6). American Society for Horticultural Science: 1647–1648. doi:10.21273/HORTSCI.40.6.1647
- Nishizawa, T., S. Nagasawa, J. B. Retamales, A. Lavín, and Y. Motomura. 2002. Comparison of Cell Wall Components between *Fragaria* × *ananassa* and *Fragaria chiloensis* Grown in Chile. *J Hort Sci Biotechnol* 77 (4). Taylor & Francis: 404–410. doi:10.1080/14620316.2002.11511513.
- Noriega, F., C. Mardones, S. Fischer, C. Garcia-Viguera, D. A. Moreno, and M. D. López. 2021. Seasonal Changes in White Strawberry: Effect on Aroma, Phenolic Compounds and Its Biological Activity. *J Berry Res* 11 (1). IOS Press: 103–118. doi:10.3233/JBR-200585
- Opazo, M. C., R. Lizana, P. Pimentel, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2013. Changes in the mRNA Abundance of FcXTH1 and FcXTH2 Promoted by Hormonal Treatments of *Fragaria chiloensis* Fruit. *Postharvest Biol Technol* 77 (March). Elsevier: 28–34. doi:10.1016/J.POSTHARVBIO.2012.11.007.
- Pardo, B., T. Pizarro, and J. Luis. 2013. *Chile: Plantas Alimentarias Prehispánicas*. Ediciones Parina. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/20725>
- Pefaur, J. 2020. *Boletín de Fruta*, Diciembre 2020. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-diciembre-2020>
- Pérez, A. G., T.R. Ayerve, and J.A. Vargas. 1998. Obtención de fresa (*Fragaria chiloensis*) deshidratada por atomización y liofilización. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 1(2), 217-230. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4519>
- Pérez-Llorca, M., P. Muñoz, M. Müller, and S. Munné-Bosch. 2019. Biosynthesis, Metabolism and Function of Auxin, Salicylic Acid and Melatonin in Climacteric and Non-Climacteric Fruits. *Front Plant Sci* 10 (March). Frontiers Media S.A.: 443435. doi:10.3389/FPLS.2019.00136/BIBTEX.
- Pimentel, P., A. Salvatierra, M. A. Moya-León, and R. Herrera. 2010. Isolation of Genes Differentially Expressed during Development and Ripening of *Fragaria chiloensis* Fruit by Suppression Subtractive Hybridization. *J Plant Physiol* 167 (14). Urban & Fischer: 1179–1187. doi:10.1016/J.JPLPH.2010.03.006.

- Prat, L., M. I. Espinoza, E. Agosin, and H. Silva. 2014. Identification of Volatile Compounds Associated with the Aroma of White Strawberries (*Fragaria chiloensis*). *J Sci Food Agric* 94 (4). John Wiley & Sons, Ltd: 752–759. doi:10.1002/JSSFA.6412.
- Ramos, J., A. Moya León, and D. Urbina Alvear. 2018. Estudio de Expresión de Factores de Transcripción de Tipo MADS-BOX de *Fragaria chiloensis*. Talca: Universidad de Talca. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/11701>
- Ramos, P., C. Parra-Palma, C. R. Figueroa, P. E. Zuñiga, F. Valenzuela-Riffo, J. Gonzalez, C. Gaete-Eastman, and L. Morales-Quintana. 2018. Cell Wall-Related Enzymatic Activities and Transcriptional Profiles in Four Strawberry (*Fragaria x ananassa*) Cultivars during Fruit Development and Ripening. *Sci Hortic* 238 (August). Elsevier: 325–332. doi:10.1016/J.SCIENTA.2018.04.064.
- Retamales, J. B., P. D. S. Caligari, B. Carrasco, and G. Saud. 2005. Current Status of the Chilean Native Strawberry and the Research Needs to Convert the Species into a Commercial Crop. *HortScience* 40 (6). American Society for Horticultural Science: 1633–1634. doi:10.21273/HORTSCI.40.6.1633
- Roy, S., B. Wu, W. Liu, and D. D. Archbold. 2018. Comparative Analyses of Polyphenolic Composition of *Fragaria* Spp. Color Mutants. *Plant Physiology and Biochemistry* 125 (April). Elsevier Masson: 255–261. doi:10.1016/J.PLAPHY.2018.02.003.
- Ruz Pozo, C. and M. A. Engler Palma. 2011. Estudio de Mercado de Frutilla Nativa (*Fragaria chiloensis* (L., Duch.)) En La Región Metropolitana. http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/8568/2/ruz_pozo.pdf
- Saavedra, G. M., N. E. Figueroa, L. A. Poblete, S. Cherian, and C. R. Figueroa. 2016. Effects of Preharvest Applications of Methyl Jasmonate and Chitosan on Postharvest Decay, Quality and Chemical Attributes of *Fragaria chiloensis* Fruit. *Food Chem* 190 (January). Elsevier: 448–453. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.107.
- Saavedra, G. M., E. Sanfuentes, P. M. Figueroa, and C. R. Figueroa. 2017. Independent Preharvest Applications of Methyl Jasmonate and Chitosan Elicit Differential Upregulation of Defense-Related Genes with Reduced Incidence of Gray Mold Decay during Postharvest Storage of *Fragaria chiloensis* Fruit. *International Journal of Molecular Sciences* 2017, Vol. 18, Page 1420 18 (7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1420. doi:10.3390/IJMS18071420.
- Salvatierra, A., P. Pimentel, M. A. Moya-León, and R. Herrera. 2014. Biosynthesis of Flavonoids in Achenes of *Fragaria chiloensis* Ssp. *chiloensis*. *Bol Latinoam Caribe Plantas Med Aromat* 13 (4). Universidad de Santiago de Chile: 406–414. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85631435010>
- Salvatierra, A., P. Pimentel, M. A. Moya-León, P. D. S. Caligari, and R. Herrera. 2010. Comparison of Transcriptional Profiles of Flavonoid Genes and Anthocyanin Contents during Fruit Development of Two Botanical Forms of *Fragaria chiloensis* Ssp. *Chiloensis*. *Phytochemistry* 71 (16). Pergamon: 1839–1847. doi:10.1016/J.PHYTOCHEM.2010.08.005.
- Salvatierra, A., P. Pimentel, M. A. Moya-León, and R. Herrera. 2013. Increased Accumulation of Anthocyanins in *Fragaria chiloensis* Fruits by Transient Suppression of FcMYB1 Gene. *Phytochemistry* 90 (June). Pergamon: 25–36. doi:10.1016/J.PHYTOCHEM.2013.02.016.
- Saud, G., F. Carbone, G. Perrotta, C. R. Figueroa, M. Moya, R. Herrera, J. B. Retamales, et al. 2009. Transcript Profiling Suggests Transcriptional Repression of the Flavonoid Pathway in the White-Fruited Chilean Strawberry, *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. *Genet Resour Crop Evol* 56 (7). Springer: 895–903. doi:10.1007/S10722-009-9487-2/FIGURES/3.
- Schmeda H., M. Simirgiotis, and J. Cheel. 2011. Chemistry of the Chilean Strawberry (*Fragaria chiloensis* Spp. *chiloensis*). *Genes, Genomes and Genomics* 5 (1): 85–90. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/68833>
- Schmeda-Hirschmann, G., F. Jiménez-Aspee, C. Theoduloz, and A. Ladio. 2019. Patagonian Berries as Native Food and Medicine. *J Ethnopharmacol* 241 (September). Elsevier: 111979. doi:10.1016/J.JEP.2019.111979.
- Shi, Y., B. J. Li, D. Grierson, and K. S. Chen. 2023. Insights into Cell Wall Changes during Fruit Softening from Transgenic and Naturally Occurring Mutants. *Plant Physiol* 192 (3). Oxford Academic: 1671–1683. doi:10.1093/PLPHYS/KIAD128.
- Simirgiotis, M. J., and G. Schmeda-Hirschmann. 2010. Determination of Phenolic Composition and Antioxidant Activity in Fruits, Rhizomes and Leaves of the White Strawberry (*Fragaria chiloensis* Spp. *chiloensis* Form *chiloensis*) Using HPLC-DAD-ESI-MS and Free Radical Quenching Techniques. *Journal of Food Composition and Analysis* 23 (6). Academic Press: 545–553. doi:10.1016/J.JFCA.2009.08.020.

- Simirgiotis, M. J., C. Theoduloz, P. D. S. Caligari, and G. Schmeda-Hirschmann. 2009. Comparison of Phenolic Composition and Antioxidant Properties of Two Native Chilean and One Domestic Strawberry Genotypes. *Food Chem* 113 (2). Elsevier: 377–385. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2008.07.043.
- Thomas-Valdés, S., C. Theoduloz, F. Jiménez-Aspee, and G. Schmeda-Hirschmann. 2019. Effect of Simulated Gastrointestinal Digestion on Polyphenols and Bioactivity of the Native Chilean Red Strawberry (*Fragaria chiloensis* Ssp. *chiloensis* f. *patagonica*). *Food Research International* 123 (September). Elsevier: 106–114. doi:10.1016/J.FOODRES.2019.04.039.
- Tian, S., and H. Xu. 2023. Mechanical-Based and Optical-Based Methods for Nondestructive Evaluation of Fruit Firmness. *Food Reviews International* 39 (7). Taylor & Francis: 4009–4039. doi:10.1080/87559129.2021.2015376.
- Valdenegro, M., L. Fuentes, A. Urtubia, R. Herrera, and M. A. Moya-León. 2010. Modified Atmosphere Packaging Preserves Quality and Antioxidant Properties in *Fragaria chiloensis*. *J Biotechnol Supplement* (150). Elsevier BV: 335. doi:10.1016/J.JBIOTEC.2010.09.347.
- Valenzuela-Riffo, F., C. Gaete-Eastman, Y. Stappung, R. Lizana, R. Herrera, M. A. Moya-León, and L. Morales-Quintana. 2019. Comparative in Silico Study of the Differences in the Structure and Ligand Interaction Properties of Three Alpha-Expansin Proteins from *Fragaria chiloensis* Fruit. *J Biomol Struct Dyn* 37 (12). Taylor & Francis: 3245–3258. doi:10.1080/07391102.2018.1517610.
- Di Vittori, L., L. Mazzoni, M. Battino, and B. Mezzetti. 2018. Pre-Harvest Factors Influencing the Quality of Berries. *Sci Hort* 233 (March). Elsevier: 310–322. doi:10.1016/J.SCIENTA.2018.01.058.
- Vojtovič, D., L. Luhová, and M. Petřivalský. 2021. Something Smells Bad to Plant Pathogens: Production of Hydrogen Sulfide in Plants and Its Role in Plant Defense Responses. *J Adv Res* 27 (January). Elsevier: 199–209. doi:10.1016/J.JARE.2020.09.005.
- Wang, S. Y., X. C. Shi, F. Q. Liu, and P. Laborda. 2021. Effects of Exogenous Methyl Jasmonate on Quality and Preservation of Postharvest Fruits: A Review. *Food Chem* 353 (August). Elsevier: 129482. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2021.129482.
- Xiong, T., Q. Tan, S. Li, C. Mazars, J. P. Galaud, and X. Zhu. 2021. Interactions between Calcium and ABA Signaling Pathways in the Regulation of Fruit Ripening. *J Plant Physiol* 256 (January). Urban & Fischer: 153309. doi:10.1016/J.JPLPH.2020.153309.
- Zhang, D., X. Ma, Q. Xie, F. Yu, D. Zhang, X. Ma, Q. Xie, and F. Yu. 2023. Understanding and Engineering of Aroma Compounds in Crops. *Seed Biology 2024* 1:E001 3 (1). Maximum Academic Press: 1–9. doi:10.48130/SEEDBIO-0023-0025.
- Zhang, W. W., S. Q. Zhao, L. C. Zhang, Y. Xing, and W. S. Jia. 2020. Changes in the Cell Wall during Fruit Development and Ripening in *Fragaria vesca*. *Plant Physiology and Biochemistry* 154 (September). Elsevier Masson: 54–65. doi:10.1016/J.PLAPHY.2020.05.028.