

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**FISIOLOGÍA DE MADURACIÓN DE FRUTILLA CHILENA (*FRAGARIA
CHILOENSIS*) E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO EN POSTCOSECHA**

POR

CARLOS FELIPE VILLARROEL GONZÁLEZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2023**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**FISIOLOGÍA DE MADURACIÓN DE FRUTILLA CHILENA (*FRAGARIA
CHILOENSIS*) E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO EN POSTCOSECHA**

POR

CARLOS FELIPE VILLARROEL GONZÁLEZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2023**

Aprobada por:

Profesor Asistente, Karin Albornoz M.
Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.

Guía

Pablo Muñoz V.
Ing. Agrónomo, Mg.
externo

Asesor

Profesor Asistente, Macarena Farcuh Y.
Ing. Agrónomo, Mg., Ph.D.
University of Maryland

Asesor externo

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary	2
Introducción	3
Desarrollo y discusión	5
Conclusiones	26
Referencias	29

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Morfología de la planta y fruto de frutilla blanca	5
Figura 2	Morfología del fruto visualizada desde corte longitudinal y superficie del fruto	6
Figura 3	Etapas de desarrollo y maduración de <i>Fragaria chiloensis</i> , indicadas en orden progresivo de izquierda (I) a derecha (IV)	8
Figura 4	Estructura de la pared celular de las plantas	13
Figura 5	Estructura y composición de los polímeros pécticos de la pared celular primaria	15
Figura 6	Cambios en la firmeza en las etapas de desarrollo del fruto. (A) <i>F. x ananassa</i> (A1-A4). (B) <i>F. chiloensis</i> (C1-C4). Diferentes letras indican diferencias significativas entre etapas, y los asteriscos indican diferencias entre especies en la misma etapa ($P = 0.05$)	16
Tabla 1	Actividad de remodelación enzimática de la pared celular observada en frutos de <i>Fragaria x ananassa</i> y <i>Fragaria chiloensis</i> durante la maduración	17

FISIOLOGÍA DE MADURACIÓN DE FRUTILLA CHILENA (*FRAGARIA CHILOENSIS*) E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO EN POSTCOSECHA

RIPENING PHYSIOLOGY OF CHILEAN STRAWBERRY (*FRAGARIA CHILOENSIS*) AND IMPLICATIONS FOR POSTHARVEST MANAGEMENT

Palabras índice adicionales: firmeza, ablandamiento, pectina.

RESUMEN

La frutilla blanca (*Fragaria chiloensis*) es una especie nativa chilena apreciada por los consumidores por sus propiedades organolépticas, pero que es altamente perecible. La frutilla blanca es un fruto no climatérico, por lo que debe ser cosechada en un momento óptimo de maduración para asegurar su calidad. La calidad de estos frutos se mide por la apariencia, sabor, aroma, valor nutricional y textura. La maduración es un proceso biológico que tiene directas consecuencias sobre la calidad del fruto. Durante la maduración, ocurren cambios en la textura, los cuales están asociados a alteraciones en la estructura y la composición de la pared celular, lo que se denomina ablandamiento. En frutilla blanca, la tasa de ablandamiento es significativamente superior a la frutilla roja (*Fragaria x ananassa*), lo cual está relacionado a la activa remodelación enzimática de las fracciones hemicelulosa y pectina de la pared celular en diversas etapas de maduración. La firmeza es un atributo clave para la comercialización, por lo que es necesario controlar durante el almacenamiento para mantener la calidad. Para ello, se ha investigado el efecto de tratamientos pre o postcosecha, como atmósferas modificadas, aplicaciones de calcio, auxina, metil jasmonato, quitosano y sulfuro de hidrógeno, que contribuyen a mantener la calidad organoléptica de la fruta durante el almacenamiento.

SUMMARY

White strawberry (*Fragaria chiloensis*) is a native Chilean species valued by consumers for its organoleptic traits, but it is highly perishable. White strawberry is a non-climacteric fruit, therefore, it has to be harvested at the optimum ripening stage

to guarantee its quality. In this fruit, quality is measured based on appearance, flavor, aroma, nutritional value, and texture. Ripening is a biological process with direct consequences on fruit quality. During ripening, there are changes in texture, which are associated with alterations on the structure and composition of the cell wall, also known as softening. In white strawberry, the softening rate is significantly higher than in the red strawberry (*Fragaria x ananassa*), which is related to the active enzymatic remodeling of the hemicellulose and pectin fractions of the cell wall through different ripening stages. Firmness is a key attribute for commercialization, it is necessary to manage it during storage to maintain quality. The effect of pre or postharvest treatments has been investigated, including modified atmosphere packaging, applications of calcium, auxin, methyl jasmonate, chitosan and hydrogen sulphur, which contribute to maintaining organoleptic quality during storage.

INTRODUCCIÓN

La frutilla chilena de fruto blanco (*Fragaria chiloensis* (L.) Mill.), es una especie silvestre del género *Fragaria*, la cual es nativa del sur de Chile. 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 contiene numerosos frutos verdaderos o “aquenios”. Comúnmente conocida como “frutilla chilena”, “frutilla blanca”, “frutilla silvestre”, “kelleñ” o “llahueñ”, y pertenece a la familia *Rosaceae*. Es una especie cuyo fruto ha sido utilizado por los pueblos indígenas por varios siglos para su alimentación, como bebestible y para algunos ritos ceremoniales (Pardo y Pizarro 2013). La frutilla chilena es uno de los progenitores de la frutilla roja o comercial (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Hancock *et al.*, 1999; Figueroa *et al.*, 2018), cuya popularidad se ha visto reforzada por su producción a nivel mundial, la cual ha crecido en un 55 % en los últimos 10 años, alcanzando 6,4 millones de toneladas en el año 2019 (Domínguez, 2021).

La frutilla chilena fue domesticada durante la época prehispánica por los mapuches que la cultivaban desde hace más de 1000 años, período en el que los frutos se consumían frescos, secos o preparados como medicina (Hancock *et al.*,

1999; Finn *et al.*, 2013). En Chile, se encuentra presente desde Iloca en la Región del Maule y hasta Cochrane en la Región de Aysén (Pardo y Pizarro, 2013). Se han registrado campos comerciales en Contulmo (Región del Bio-Bio) y Purén (Región de la Araucanía) (Finn *et al.*, 2013). La frutilla blanca es símbolo de las montañas de Nahuelbuta debido a su importancia agrícola y comercial, pero su producción y superficie ha comenzado a decaer, afectando las economías de los pequeños agricultores (Céspedes, 2018). Sus rendimientos fluctúan entre 1 a 11 t/ha (Figueroa *et al.*, 2018), mientras que en la frutilla comercial alcanzan las 60 t/ha (INDAP, 2022). El fruto de la frutilla blanca no es uniforme, y su abastecimiento se dificulta debido a la limitada zona geográfica en donde se cultiva y por su alta perecibilidad (Retamales *et al.*, 2005).

La frutilla chilena se destaca por sus características nutricionales y organolépticas, al beneficiarse de un aroma y sabor distintivo (Lavín y Maureira, 2000). Su consumo tiene 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). En donde el ácido elágico presente en *Fragaria chiloensis* actúa como agente anticancerígeno, y su contenido es de aproximadamente cuatro veces más que la frutilla comercial, cumpliendo de esta manera su rol como alimento funcional (Schmeda-Hirschmann *et al.*, 2019).

En estudios realizados en Chile, se encontró que los consumidores y los restaurantes de la Región Metropolitana prefieren la *Fragaria chiloensis*, en lugar de la frutilla comercial. La preferencia se basó en su mejor textura, jugosidad, aroma intenso, suavidad de la pulpa, sabor y dulzura (Adasme *et al.*, 2006; Ruz, 2011).

La fisiología de maduración de la frutilla chilena es un proceso complejo que involucra una serie de cambios bioquímicos, físicos y fisiológicos que ocurren en la fruta a medida que madura. 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. La frutilla es una fruta altamente perecedera que requiere 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, 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.*, 2008). Por lo que, 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.

El objetivo general de la presente monografía fue analizar el estado del arte de las investigaciones en fisiología de la maduración de la frutilla chilena, con énfasis en firmeza y en prácticas de manejo postcosecha para prolongar su calidad.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

La presente revisión bibliográfica se estructuró en cuatro capítulos. Las características de la frutilla blanca y su situación actual desde una perspectiva nacional y local se revisaron en el primer capítulo. Posteriormente, se realizó una búsqueda de fuentes de información sobre los atributos de calidad de esta fruta. En el tercer capítulo, la información recopilada se centró en los factores que influyen en la tasa de ablandamiento de la frutilla chilena. Finalmente, se analizaron las principales intervenciones de postcosecha realizadas a la fecha.

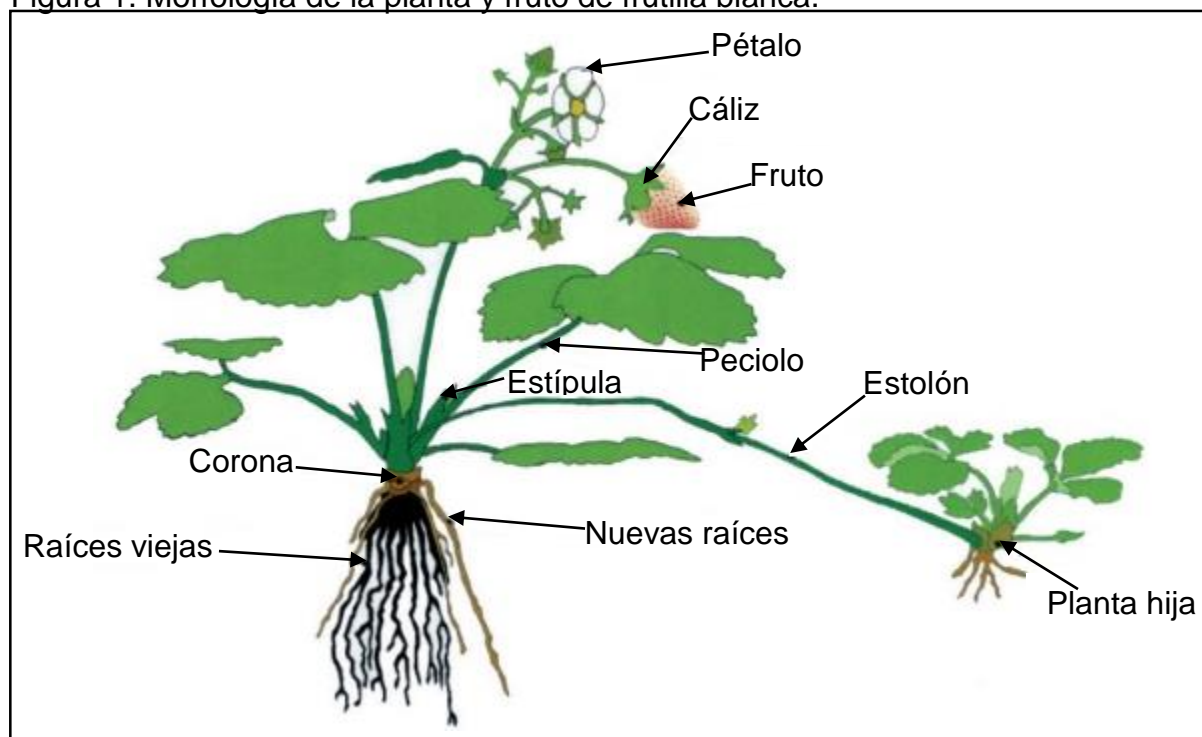
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA FRUTILLA BLANCA Y SU SITUACIÓN EN CHILE

Descripción botánica y características agronómicas

La frutilla blanca es una especie perenne y rastrera. Su planta está formada por una corona que produce estolones, los cuales fomentan el enraizamiento en contacto con el suelo. Estos estolones crecen a partir de las yemas axilares. 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 (Figura 1)

(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 horas de luz para poder fructificar (Céspedes, 2018).

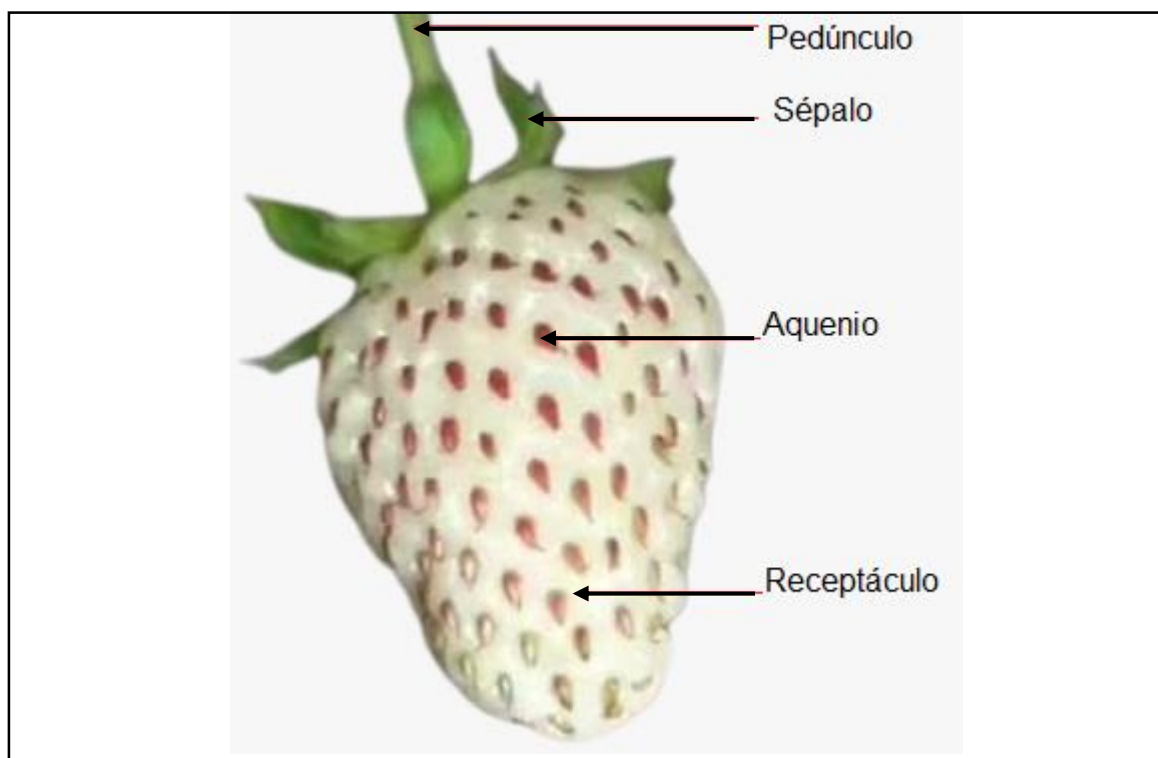
Figura 1. Morfología de la planta y fruto de frutilla blanca.



Fuente: Extraído de Céspedes, 2017.

El órgano comestible de *Fragaria chiloensis* es botánicamente un falso fruto o eterio, compuesto por un receptáculo que contiene los aquenios o frutos verdaderos (Lavín y Maureira, 2000) (Figura 2). *Fragaria chiloensis* puede ser cultivada en dos estaciones diferentes, dependiendo de la zona. En la zona costera, 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.

Figura 2. Morfología del fruto visualizada desde corte longitudinal (izquierda) y superficie del fruto (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

Situación en Chile

En Chile, *Fragaria chiloensis* se puede encontrar tanto en su forma silvestre como comercial. Esta especie silvestre se adapta fácilmente a diferentes climas y suelos, lo que hace perfectamente apta para crecer en áreas de clima mediterráneo, marino y polar. Es interesante destacar que *Fragaria chiloensis* se puede encontrar en una amplia gama de altitudes desde el nivel del mar hasta los 1850 msnm (Lavín *et al.*, 2000). Aunque existe pequeños focos de producción comerciales de *Fragaria chiloensis* en las regiones de Maule, Bio-Bío y Araucanía, la zona de producción principal se encuentra en el territorio de Nahuelbuta, en las comunas de Contulmo y Purén (Céspedes, 2018). En total, se estima que la superficie dedicada a su cultivo es de 30 a 40 hectáreas, y la superficie promedio por productor varía entre 1/8 a 1 hectárea (Finn *et al.*, 2013). A pesar de que este cultivo representa una importante fuente de ingreso estacional para la pequeña agricultura, su rendimiento promedio es variable, oscilando entre 1 a 11 t/ha según el manejo agronómico (Figuroa *et*

al., 2018). La comercialización de la frutilla blanca es escasa, debido a que las zonas de producción están alejadas a los grandes centros urbanos (Lavín y Maureira, 2000; Nishizawa *et al.*, 2002).

En los últimos años, la producción del cultivo de *F. chiloensis* ha disminuido en Chile, lo que asocia a una mayor preferencia por la frutilla roja, la cual es más rentable y produce mayores rendimientos (Figuroa *et al.*, 2018). A pesar de que ambas son apreciadas por los consumidores, la frutilla roja ha logrado captar la atención de los productores, quienes han enfocado sus esfuerzos en una producción de mayor escala. Cabe destacar que el precio promedio del kilogramo de frutilla roja en Chile oscila entre los \$1000 y \$7000 (Pefaur, 2020), mientras que la frutilla blanca alcanza entre los \$20000 y \$24000 por kilogramo (datos propios).

CAPÍTULO 2. PROCESO DE MADURACIÓN Y ATRIBUTOS DE CALIDAD DE *FRAGARIA CHILOENSIS*

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 (Paliyath *et al.*, 2008). 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.*, 2014).

Durante el proceso de maduración del fruto de *Fragaria chiloensis*, ocurren una serie de cambios a nivel molecular, bioquímico y fisiológico, que en conjunto permiten que los frutos desarrollen sus características organolépticas como el sabor, intenso aroma y distintivo color (Carrasco y Herrera, 2018). Estos cambios son causados por cambios a nivel hormonal y por alteraciones en la expresión génica y en la actividad de determinadas enzimas (Brummell, 2006; Figuroa *et al.*, 2008), y ocurren durante la maduración organoléptica, contribuyendo a determinar la calidad y las preferencias de parte de los consumidores (Moya *et al.*, 2019). La maduración de los frutos del género *Fragaria* sigue un patrón no climatérico, por lo que al cosechar no se presenta un incremento significativo en la alta tasa

respiratoria y de producción de etileno (Cherian *et al.*, 2014). La maduración no persiste después de la cosecha, y, por lo tanto, la calidad organoléptica no mejora durante este período (Undurraga y Vargas, 2013; Cherian *et al.*, 2014). No obstante, estos frutos poseen una alta tasa respiratoria, lo que se asocia con una elevada tasa de deterioro postcosecha. Adicionalmente, la presencia de una fina epidermis en la frutilla blanca contribuye a una pérdida significativa de vapor de agua y peso fresco, lo que agrava el deterioro general del fruto después de cosechado (Morales *et al.*, 2017). El desarrollo y maduración de los frutos de *Fragaria chiloensis* se divide en cuatro etapas (Figura 3), donde la primera (I) precede al inicio de la maduración, donde el receptáculo es pequeño y con 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).

Figura 3. Etapas de desarrollo y maduración de *F. chiloensis*, indicadas en orden progresivo de izquierda (I) a derecha (IV).



Fuente: Adaptado de Figueroa *et al.*, 2008.

El índice de madurez de un fruto es una medida que se puede utilizar para identificar una etapa particular del desarrollo y para ayudar a determinar el momento de la cosecha. La identificación de las diferentes etapas para la frutilla blanca 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 y Ramos, 2019). La recolección

en el estado adecuado de madurez es esencial para la calidad óptima, especialmente para las frutas no climatéricas como la frutilla, que no mejorarán su calidad organoléptica después de la cosecha. En el caso de la frutilla blanca destinada a consumo fresco, la cosecha debe realizarse entre las etapas III y IV para garantizar un sabor y calidad óptima (Figura 2) (Figuroa *et al.*, 2008). Los frutos se cosechan con cáliz y con una pequeña parte del pedúnculo adherido, además con 2/3 a 3/4 de la superficie de color rosado pálido (Lavín y Maureira, 2000).

Los atributos organolépticos de los frutos de *F. chiloensis* exhiben cambios dramáticos a lo largo del proceso de maduración, descritos a continuación.

Apariencia

La apariencia es uno de los atributos más relevantes, ya que es lo primero que el consumidor percibe y está relacionado con la aceptación y posible compra del producto (López, 2003). 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 (Hannum, 2004). 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 (Figura 3) (Hancock *et al.*, 1999). Durante este período, predomina la presencia de los antocianos Cianidina-3-Glucósido (C3G), seguida de Pelargonidina-3-Glucósido (P3G), 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 blanca, 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.*, 2010; López *et al.*, 2021). En cuanto a las características físicas de la frutilla blanca, es un fruto de forma globosa, pero presenta una baja uniformidad de tamaño (Retamales *et al.*, 2005). En el caso de la fruta sea silvestre, su peso oscila entre 1 a 2 gramos, pero en condiciones domesticadas se encuentra entre 6 a 14 gramos (Figuroa *et al.*, 2008; Méndez, 2019). La altura y el diámetro también proporcionan información

sobre el tamaño del fruto, y ambos parámetros 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 (Figura 2) (Lavín y Maureira, 2002; Méndez, 2019).

Sabor

Existen diversos factores que influyen en el sabor de una fruta, pero sin duda, la relación entre el dulzor y la acidez es uno de los más relevantes. De hecho, esta relación es un indicador clave de la madurez y la calidad de la fruta en boca (López, 2003). El dulzor depende de las concentraciones de azúcares, y es expresado como contenido de sólidos solubles (CSS) a través de los grados Brix ($^{\circ}$ Brix), donde un grado Brix equivale a 1 gramo de sacarosa en 100 gramos de solución (Martínez, 2009). En esta última de *Fragaria chiloensis*, se registran valores promedio entre 9,5 - 9,9 $^{\circ}$ Brix (Lavín y Maureira, 2000; Nishizawa *et al.*, 2005; Figueroa *et al.*, 2012). En *F. chiloensis*, 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, en cambio, la sacarosa alcanza su máximo contenido en la etapa IV, lo que está relacionado directamente con la percepción del sabor (Nishizawa *et al.*, 2005).

En cuanto a la acidez, está determinada por la concentración de ácidos orgánicos presentes en la fruta. El nivel de acidez se expresa como acidez titulable (AT), y su concentración también 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 (Méndez, 2019). La relación azúcar/acidez, es uno de los parámetros para evaluar la calidad del sabor de la fruta. En general, desde el punto de vista del consumidor, se recomienda un mínimo de 7 % de sólidos solubles y/o un máximo de 0,8 % de acidez titulable para un sabor aceptable (Undurraga y Vargas, 2013). A modo de referencia, se considera que una relación alrededor de 8,75 es la deseada para la frutilla comercial (Ivars y Mora, 2020), mientras que para la frutilla blanca la relación es de alrededor de 13. Este parámetro se mantiene constante entre las primeras etapas (I a II), pero existe

un incremento significativo en la etapa III, manteniéndose hasta la etapa IV (Méndez, 2019).

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 (Forney *et al.*, 2000; Morales y Ramos, 2019). La frutilla blanca 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.*, 2013).

En *F. chilensis*, 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 (González *et al.*, 2009; Prat *et al.*, 2013). Las concentraciones de los compuestos volátiles en la frutilla blanca 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 (Prat *et al.*, 2013; Figueroa *et al.*, 2009).

Valor nutricional

El valor nutricional es un indicador del contenido de nutrientes que el alimento aporta para satisfacer los requerimientos del consumidor (López, 2003). La calidad nutricional está relacionada con un alto contenido de una diversa gama de fitoquímicos (Di Vittori *et al.*, 2018). Los frutos de *Fragaria chilensis* son buscados principalmente por el consumidor ya que presentan un buen sabor que se asocia a propiedades medicinales, y a una gama de micronutrientes que son beneficiosos para la salud ya que son ricos en compuestos bioactivos, entre los que se encuentran proantocianidinas y taninos hidrolizables a base de ácido elágico, así

como los glucósidos flavonoides de la quercetina y el kaempferol (Schmeda-Hirschmann *et al.*, 2011). De estos, el ácido elágico es el principal compuesto fenólico de frutilla chilena (5,9 mg/g), superando en concentración de la fresa roja (0,54 mg/g) (Simirgiotis *et al.*, 2009). El ácido elágico tiene efectos potenciadores para la salud humana debido a sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes y antibacterianas (Simirgiotis y Schmed.Hirschmann, 2010). También es importante señalar que los aquenios contienen más ácido elágico que la pulpa (Williner, 2001), lo que sugiere que su consumo puede ser beneficioso para la salud, por lo que se debe incrementar su consumo para aprovechar sus propiedades nutricionales y mejorar la salud en general.

Textura

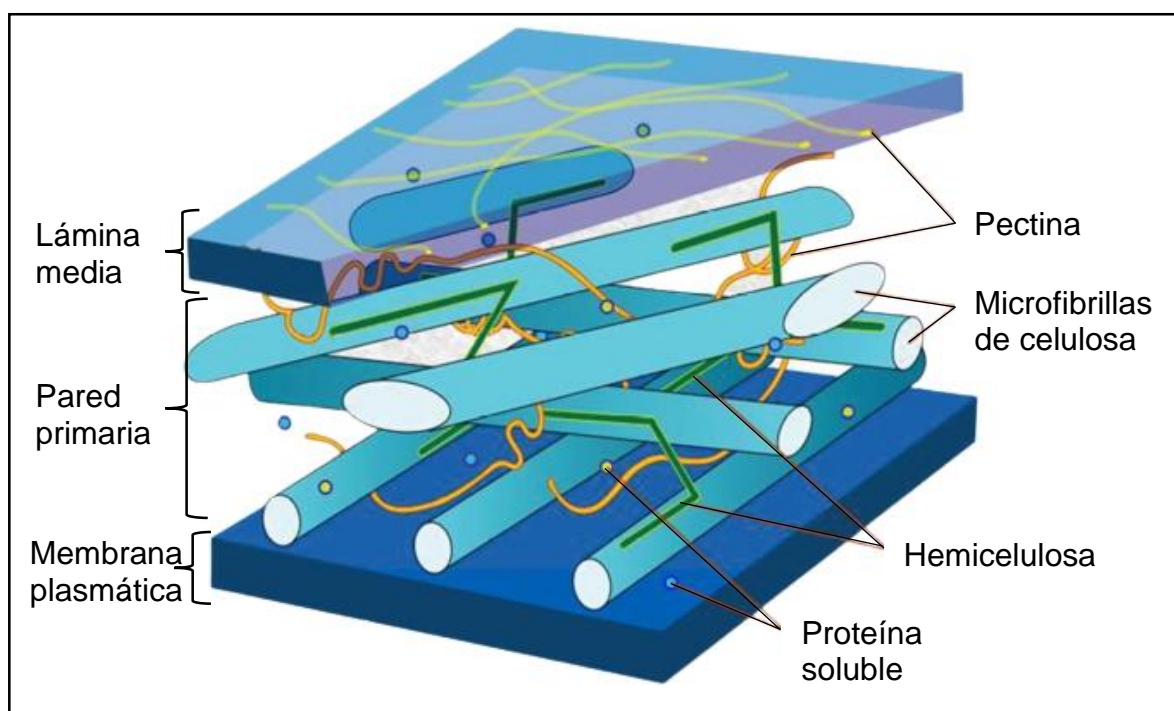
La textura es un parámetro esencial para la calidad de la fruta, ya que condiciona la percepción sensorial del consumidor. Los consumidores buscan frutas con una textura agradable, que sea firme y crujiente, pero no demasiado dura ni blanda, que los clientes acepten el producto, pues una la textura inadecuada puede afectar negativamente al consumidor y disminuir su intención de comprar el producto (Lara, 2013). En frutas, 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. La firmeza 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 (Zapata *et al.*, 2010).

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, 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 la firmeza experimenta su mayor reducción, alcanzando el nivel mínimo en la etapa IV (Figuroa *et al.*, 2008). 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 (Brummell, 2006; Figuroa *et al.*, 2008).

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN Y FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TASA DE ABLANDAMIENTO DE *FRAGARIA CHILOENSIS*

La pared celular vegetal es una estructura compleja y dinámica, responsable del crecimiento y la morfología de la planta. Determina la forma celular, proporciona estabilidad mecánica, modula el crecimiento celular y también constituye una barrera contra el ataque de patógenos (Somerville *et al.*, 2004). La pared celular primaria (PCP) es una matriz extracelular que rodea a la célula vegetal (Figura 4), la cual, en plantas dicotiledóneas, está compuesta generalmente por una fase microfibrilar y una matriz. La fase microfibrilar está formada principalmente por celulosa y la fase matriz es dominada por hemicelulosas y pectinas, y en menor cantidad por proteínas, elementos como boro, calcio y silicio, y componentes fenólicos. La lámina media, al ser la capa más externa de la pared celular primaria, cumple con la función de adhesión entre las paredes celulares de células adyacentes (Santiago, 2016).

Figura 4. Estructura de la pared celular de las plantas.



Fuente: Modificada de Santiago, 2016.

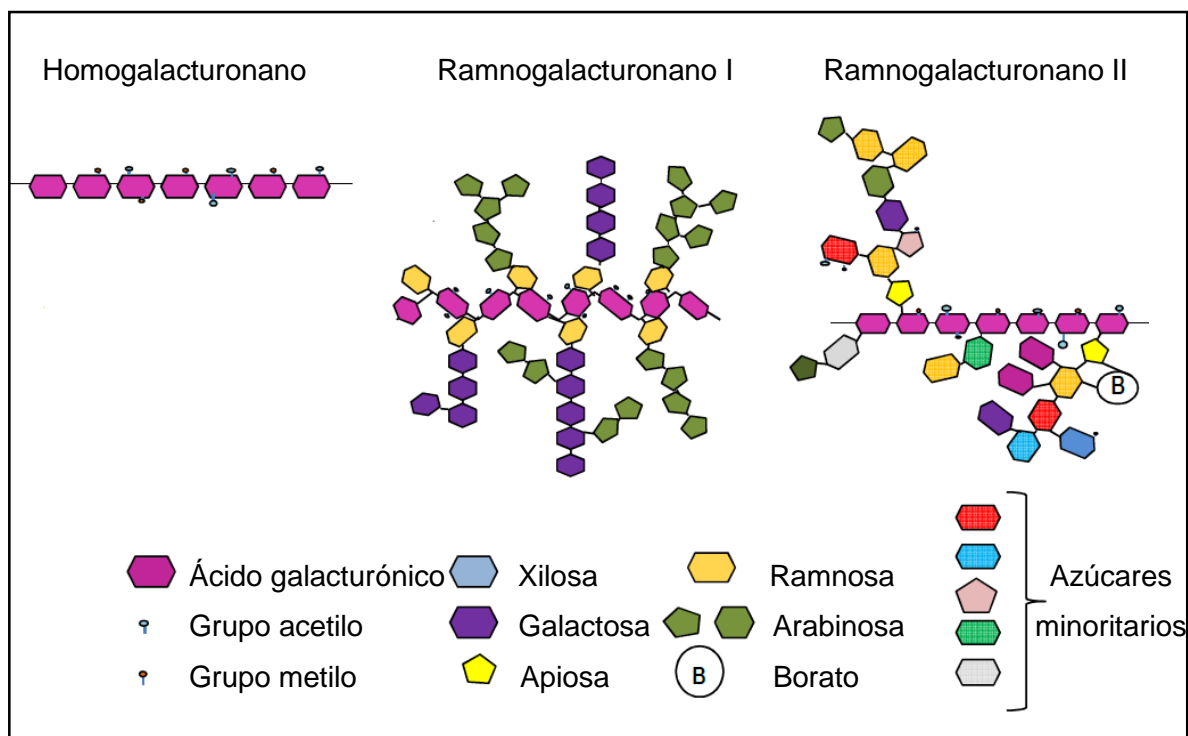
A continuación, se describirán los principales componentes estructurales de la pared celular primaria.

Estructura de la pared celular primaria

La celulosa es el principal componente de la pared celular, y está constituida por una cadena lineal β -1,4-glucanos que interactúan mediante puentes de hidrógeno para la formación de microfibrillas de celulosa. Aproximadamente 36 cadenas de celulosa forman una microfibrilla. Por otro lado, las hemicelulosas están formadas por cadenas de monosacáridos de seis carbonos como la glucosa (Glu) o manosa (Man), o de cinco carbonos como la xilosa (Xil), las que están unidas por enlaces β -1,4. En dicotiledóneas, el componente que más destaca es la presencia de los xiloglucanos (XiG) que se unen fuertemente a las microfibrillas de celulosa por puentes de hidrógenos, formando en una red (Santiago, 2016; Posé *et al.*, 2019).

Las pectinas son los componentes más comunes de la pared celular primaria y de la lámina media, representando un 30 %, y logrando hasta un 65 % en algunas especies (Posé *et al.*, 2019). La pared celular de numerosos frutos, incluyendo el género *Fragaria*, es rica en pectinas, las cuales tienen un papel importante en la extensión de la pared, y contribuyen a la textura y a la calidad de la fruta. Las pectinas se componen de una mezcla de polisacáridos heterogéneos, ramificados y altamente hidratados, ricos en ácido *D*-galacturónico, los cuales hipotéticamente llenarían los espacios libres entre microfibrillas. Existen tres constituyentes fundamentales de las pectinas: homogalacturonano (HG), ramnogalacturonano tipo I (RG-I) y ramnogalacturonano tipo II (RG-II), de los cuales HG representa el 65 %, RG-I el 20 a 35 %, y el RG-II el 10 % del total de pectinas (Ramos *et al.*, 2018). HG, RG-I y RG-II son altamente complejos a nivel estructural y varían en el contenido y diversidad de los polisacáridos que los componen (Figura 5) (Santiago, 2016; Posé *et al.*, 2019).

Figura 5. Estructura y composición de la pectina de la pared celular primaria.



Fuente: Adaptada de Santiago, 2016.

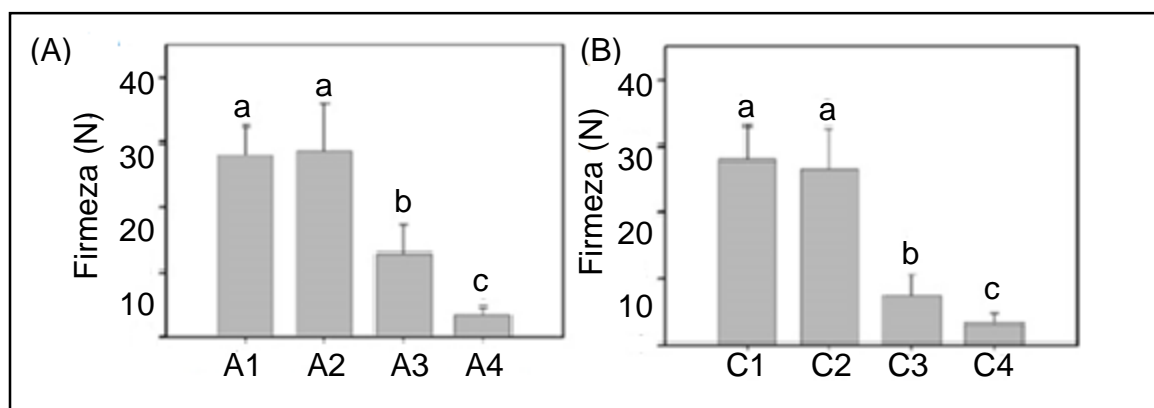
Proceso de ablandamiento de frutos de *Fragaria chiloensis*

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 e hinchazón de la pared celular, la degradación de los polisacáridos que la conforman y una disminución de la adhesión intercelular (Brummell, 2006). El desmontaje de la pared celular conlleva 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. Esto se correlaciona con una reducción de la firmeza del fruto (Mercado *et al.*, 2011).

En el género *Fragaria*, el ablandamiento se debe a una despolimerización leve y a una solubilización moderada de la pared celular, lo que da como resultado una textura carnosa del fruto. 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 abierta y fácil de degradar por las enzimas (Brummell, 2006).

No obstante, no se rechaza la participación de las hemicelulosas en el ablandamiento, ya que se ha observado una leve despolimerización de este componente (Figuroa *et al.*, 2010). 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* (Figura 6) (Figuroa *et al.*, 2008).

Figura 6. Cambios en la firmeza en las etapas de desarrollo del fruto. (A) *F. x ananassa* (A1-A4). (B) *F. chiloensis* (C1-C4). Diferentes letras indican diferencias significativas entre etapas, y los asteriscos indican diferencias entre especies en la misma etapa ($P = 0.05$).



Fuente: Adaptada de Figuroa *et al.*, 2008.

En *F. chiloensis*, la mayor solubilización de las pectinas ocurre en la fracción RG-I, y, además, se ha observado que hay cambios significativos en el contenido de los azúcares arabinosa y galactosa (González, 2012; Méndez, 2019). Simultáneamente, se produce un aumento en los niveles de enzimas (Prasanna *et al.*, 2007). Al comparar las actividades enzimáticas de enzimas modificadoras de la pared celular relacionadas con la maduración de frutos de *F. chiloensis* y *F. x ananassa*, se observa una mayor reducción de firmeza en la última (Tabla 1) (Figuroa *et al.*, 2010). Tanto en la frutilla blanca como en la frutilla roja, la actividad enzimática de PG, AFasa, β Gasa, EGasa, β -Xil, XTH y RG-liasa aumentan a medida que el fruto madura y contribuyen a su ablandamiento. Promoviendo al desmantelamiento de la pared celular, las expansinas permitirían el ingreso de otras enzimas presentes (Ramos *et al.*, 2018). Sin embargo, la mayoría de las actividades

enzimáticas fueron más altas en *F. chiloensis* que en *F. x ananassa*, con excepción de PME y PL, lo que se relaciona con una mayor tasa de ablandamiento de la frutilla blanca (Tabla 1) (Méndez, 2019).

Tabla 1. Actividad de remodelación enzimática de la pared celular observada en frutos de *Fragaria x ananassa* y *Fragaria chiloensis* durante la maduración.

Nombre de la enzima	Modo de acción	Mayor actividad en:	
		<i>F. x ananassa</i>	<i>F. chiloensis</i>
Pectinolíticas			
Poligalacturonasa (PG)	Hidrólisis de enlaces α -1,4-galacturónico presentes en pectina		X
Pectato liasa (PL)	Eliminación de pectina de-esterificada	X	
Pectina metilesterasa (PME)	Hidrólisis de los grupos ésteres metílicos de pectina	X	
α -arabinofuranosidasa (AFasa)	Degrada la arabinosa de las cadenas laterales pécticas y las hemicelulosas		X
β -galactosidasa (β Gal)	Aumenta la eliminación de galactosilo		X
β -xilosidasa	Hidroliza enlaces terminales β -1,4 entre residuos de xilosa		X
Ramnogalacturonano liasa (RG-liasa)	Cataliza la hidrolisis de ramnogalacturonano		X
Otros			
Endo-glucanasa (EGasa)	Endo-hidrólisis de glucanos con uniones β -D-1,4		X
Xiloglucano endotransglicosilasa/hidrolasa (XTH)	Actúa sobre las cadenas de xiloglucanos		X
Expansinas (EXP)	Inducen el relajamiento de la pared. Rompen los puentes hidrogeno entre celulosa-hemicelulosa		X

Fuente: Prasanna *et al.*, 2007; Rosli, 2007; Figueroa *et al.*, 2008; Figueroa *et al.*, 2010; Opazo *et al.*, 2013; Méndez, 2019; Méndez *et al.*, 2020.

En el caso particular de *F. chiloensis*, entre las etapas II a III hay 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 (Figuroa *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 blanca, fenómeno que no fue observado en la frutilla roja (Méndez, 2020), lo cual también podría explicar la diferencia en las tasas de ablandamiento de ambas especies.

CAPÍTULO 4. PRINCIPALES INTERVENCIONES DE POSTCOSECHA DE 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 corta después de la cosecha debido a la pérdida de firmeza, pérdida de peso y al ataque de hongos (Figuroa *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 blanca 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 siempre húmedo para evitar la contaminación por polvo (Lavín y Maureira, 2000).

Una vez cosechada la fruta, es necesario un control adecuado de la temperatura como mantener la fruta en un lugar fresco, sombreado o a una cámara de frío, que no quede expuesta a la luz solar para mantener la calidad de la fruta, especialmente para la venta en fresco. Es posible almacenar la fruta durante más tiempo en espacios fríos debido a la tecnología de refrigeración. El uso de atmósferas modificadas (AM) a través de películas plásticas se ha convertido en un método alternativo para extender el periodo de postcosecha de frutilla blanca. Loyola *et al.*, en el año 2008 evaluaron la efectividad de las bolsas AM en la conservación de las propiedades sensoriales durante el almacenamiento a 0°C con una humedad

relativa del 90 % por 11 días. Se utilizaron tres tratamientos: (T1) fruta almacenada en bolsa AM, (T2) fruta pre-enfriada a una temperatura de pulpa de 2°C y almacenada en bolsa AM, y el control sin bolsa AM. En T1, el nivel de oxígeno (O₂) disminuyó a un 13,9 %, mientras que el dióxido de carbono (CO₂) aumentó desde 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 el grado de perecibilidad de la fruta y conservar sus cualidades organolépticas con relación al control. Adicionalmente, se reportó que T2 (con pre-enfriado) no contribuyó a una mayor aceptabilidad de la fruta, lo que implicaría un gran ahorro en la cadena de comercialización de la frutilla blanca. En otro estudio, Valdenegro *et al.*, (2010) determinaron que fruta almacenada en tres tratamientos: control, film 1 (PD-961) y film 2 (E-bag), por 12 días a 4°C, exhibieron una vida útil más larga que el control sin bolsa. Los tratamientos AM 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.

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 blanca y mejorar su calidad. Existe evidencia del uso de calcio y auxina solos o en combinación. Frutos tratados con cloruro de calcio (CaCl₂) en concentración 2% (m/v) tuvieron menos solubilización de pectina durante el almacenamiento en a 2°C por 8 días que el control tratado con agua, fortaleciendo así la pared celular y evitando su degradación. Por otra parte, el tratamiento con la auxina sintética ácido naftalenoacético (ANA) a 1 mmol, resultó en la represión de varios genes modificadores de pared celular durante la refrigeración. Aunque el calcio y la auxina por sí solos alteraron la maduración de la fruta al evitar la degradación normal de la pared celular, la combinación de ambos redujo significativamente y en mayor nivel la expresión de genes que codifican para enzimas clave en la degradación de la pared celular durante el almacenamiento en frío, como PG, PL y EG, en comparación con los tratamientos individuales. Asimismo, la aplicación combinada

de CaCl_2 y ANA no aumentó significativamente la firmeza, pero sí mantuvo valores de peso más altos que el control (Figueroa *et al.*, 2012).

Metil jasmonato (MeJa) 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. Saavedra *et al.*, (2016) revelaron que 0,25 mM MeJa y 1,5 % (m/v) Qui aplicados individualmente en diferentes estados de desarrollo antes de la cosecha, fueron favorables para la calidad de la fruta. Las frutas tratadas tuvieron mayor firmeza, contenido de antocianinas y la lignina (indicador de aumento de firmeza) durante el almacenamiento a 22°C, previniendo el desarrollo de *Botrytis cinerea* hasta por 3 días, en comparación al tratamiento control con agua. Saavedra *et al.*, (2017) 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.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) ha sido propuesto como una molécula de señalización responsable de activar procesos fisiológicos. Fruta fumigada con 0,2 mM de H_2S prolongó la vida postcosecha aproximadamente una semana al reducir la incidencia de pudriciones y la tasa de ablandamiento durante el almacenamiento a 20°C por 4 días. 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).

La implementación de estas prácticas y tecnologías podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de este producto endémico, pudiendo constituirse en una estrategia de comercialización. Por ello, es importante continuar con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas para enfrentar los desafíos de la producción y comercialización de la frutilla chilena.

CONCLUSIONES

En la relación con la fisiología de maduración y las tecnologías de orientadas a extender la vida postcosecha de *Fragaria chiloensis*, se pueden resumir los siguientes aspectos:

1. Existe una amplia falta de conocimiento público sobre la existencia de la frutilla chilena en relación con la frutilla roja, destacando la necesidad de desarrollar estrategias comerciales para aumentar su reconocimiento.
2. Es importante identificar las diferentes etapas de desarrollo y maduración de la frutilla blanca que garanticen una fruta de mejor calidad organoléptica y nutricional, al mismo tiempo que prolongue su vida postcosecha.
3. La firmeza de la frutilla chilena es una característica importante que afecta en gran medida la calidad de la fruta, limitando así su vida postcosecha.
4. Durante la maduración y almacenamiento de la frutilla blanca, los cambios que ocurren en la estructura y composición de la pared celular inducen reducciones en la firmeza. Esto se asocia principalmente con la solubilización de las pectinas, lo que es mediado por la acción de numerosas enzimas.
5. Tratamientos aplicados en pre o postcosecha, tales como AM, calcio, auxinas, MeJa, quitosano y H₂S, pueden contribuir a mantener un alto nivel de calidad organoléptica de los frutos por mayor tiempo al reducir la incidencia de pudriciones y preservar la firmeza.

REFERENCIAS

1. Adasme, C., A. Spiller y J. Díaz. 2006. Determinación de preferencias del consumidor de la Región Metropolitana hacia la frutilla blanca (*Fragaria chiloensis*). Un análisis conjunto y una prueba sensorial. Ec. Agr. (10): 1-10.
2. Brummell, D.A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. Fun. Plant Bio. 33(2): 103-119.
3. Carrasco, C. y R. Herrera. 2018. Caracterización de un factor de transcripción de la familia NAC y su rol en el proceso de ablandamiento en frutos de *Fragaria chiloensis* L. (Duch.). Tesis, Doctor en Ciencias. Mención Ingeniería Genética Vegetal. Universidad de Talca, Instituto de Ciencias Biológicas. Talca, Chile.

4. Céspedes, C. 2017. Frutilla blanca: diferencias de manejo para la producción de plantas y fruta. Informativo de INIA N°136. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
5. Céspedes, C. 2018. Rescate y valorización de la frutilla blanca en el territorio de Nahuelbuta. Boletín de INIA N°363. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
6. Cherian, S., C. Figueroa and H. Nair. 2014. "Mover and shakers" in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. *J. of Exp. Bot.* 65(17): 4705-7722.
7. Di Vittori, L., L. Mazzoni, M. Battino and B. Mezzetti. 2018. Pre-harvest factors influencing the quality of berries. *Sci. Horticult.* 233: 310-322.
8. Domínguez, A. 2021. El Mercado de la Frutilla. Seminario Virtual Frutilla: Mercado, Rentabilidad, Variedades y Tecnología Post Cosecha. 21 de Julio, 2021. Chilealimentos. Chile.
9. Fan, D., W. Wang, Q. Hao and W. Jia. 2022. Do non-climacteric fruits share a common ripening mechanism of hormonal regulation?. *Front. in plant sci.* 13.
10. Figueroa, C.R., P. Pimentel, C. Gaete-Eastman, M. Moya, R. Herrera, P.D. 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. *Posth. Biol. and Tech.* 49(2): 210-220.
11. Figueroa, C.R., P. Pimentel, M.C. Dotto, 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. *Posth. Biol. and Tech.* 53(1-2): 51-57.
12. Figueroa, C. R., 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* and *Fragaria x ananassa* fruits. *Sci. Horticult.* 124(4): 454-462.
13. Figueroa, C. R., 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.
14. Figueroa, C.R., C.M. Concha, N.E. Figueroa y G. Tapia. 2018. Frutilla Chilena Nativa – *Fragaria chiloensis* [en línea]. IICA. Procisur.

<https://www.researchgate.net/publication/333457868_FRUTILLA_CHILENA_NATIVA_-_Fragaria_chiloensis/stats>. [Consulta: 1 de septiembre 2020].

15. Finn, C.E., J.B. Retamales, G.A. Lobos and J.F. Hancock. 2013. The Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*). Over 1000 years of domestication. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 48(4): 418-421.
16. Forney, C., W. Kalt and M. Jordan. 2000. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage. *Hortsci.* 35(6): 1022-1026.
17. Fredes, C. 2009. Antioxidantes en berries nativos chilenos. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas.* 8(6): 469-478.
18. González, M., C. Gaete, M. Valdenegro, C.R. Figueroa, L. Fuentes, R. Herrera y 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): 9123-9132.
19. González, S.M. 2012. Estudio de la composición y estructura de la pared celular de los frutos de *Fragaria chiloensis* y *Fragaria x ananassa* cv *Camarosa*. [en línea]. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ciencias Exactas. Santiago, Chile. <<https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3299?show=full>>
20. Hancock, J.F., A. Lavín and J.B. Retamales. 1999. Our Southern Strawberry Heritage: *Fragaria chiloensis* of Chile. *HortSci.* 34(5): 814-816.
21. Hannum, S. 2004. Potential impacto f strawberries on human health a review of the science. *Crit. Rev. in food sci. and nut.* 44(5): 1-17.
22. INDAP. 2022. Fichas técnicas para la agricultura familiar campesina, temporada 2022-2023 [en línea]. Ministerio de Agricultura. <<http://www.indap.gob.cl/fichas-tecnicas>>. [Consulta: 05 enero 2023].
23. Ivars, Y. y J. Mora. 2020. Evaluación de parámetros de calidad poscosecha en tres variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) en Los Antiguos, Santa Cruz. pp: 1-12. Informe. INTA. Santa Cruz, Argentina.
24. Lavín, A., A. del Pozo, M. Maureira y A. del Pozo. 2000. Distribución actual de *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. En Chile. *Pl. Gen. Reso. News.* 122:1-6.

25. Lavín, A. y M. Maureira. 2000. la frutilla chilena de fruto blanco. Boletín de INIA N°39. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Experimental Cauquenes. Cauquenes, Chile.
26. Lavín, A. y M. Maureira. 2002. La frutilla nativa y su cultivo. [en línea]. INIA. <<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/5958/NR29022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 26 agosto 2022].
27. López, A. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas [en línea]. FAO. <<https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s00.htm#Contents>>. [Consulta: 15 de Noviembre 2021].
28. López, J., C. Vera, R. Bustos and J. Florez. 2021. Native berries of Chile: a comprehensive review on nutritional aspects, functional properties, and potential health benefits. *J. and F. Meas. And Char.* 15: 1139-1160.
29. Loyola, N., M. Barrera y C. Acuña. 2008. Evaluación del uso de atmósfera modificada en *Fragaria chiloensis* L. ecotipo blanco. *Idesia.* 26(3): 57-69.
30. Martínez, J.A. 2009. La preparación de mermelada como recurso didáctico. *An. Quim.* 105(3): 221-226.
31. Méndez. A. 2019. Aislamiento y caracterización de la enzima ramnogalacturonano endoliasa inducida durante la maduración de frutos de *Fragaria chiloensis* (L.) Mill. Tesis, Doctorado en Ciencias con Mención Ingeniería Genética Vegetal. Universidad de Talca, Instituto de Ciencias Biológicas. Talca, Chile
32. Méndez. A., M. González, C. Carrasco, R. Herrera and M. Moya. 2020. Isolation of a rhamnogalacturonan lyase expressed during ripening of the Chilean strawberry fruit and its biochemical characterization. *Plant physiol. and biochem.* 146: 441-419.
33. Mercado, J., F. Pliego and M. Quesada. 2011. Fruit shelf life and potential for its genetic improvement. pp: 81-104. In. M. Jenks and P. Bebeli (Eds.). *Breeding for fruit quality.*
34. Molinett, S., J. Alfaro, F. Sáez, S. Elgueta, M. Moya and C. 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. *Intern. Journal of Molecular Scien.* 22(18): 10008.

35. Morales, C.G., J. Riquelme, J. Hirzel, A. France, A. Pedreros, H. Uribe y P. Abarca. 2017. Manual de manejo agronómico de la frutilla. Boletín INIA N°382. INIA. Providencia, Chile.
36. Morales L. and P. Ramos. 2019. Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*): An integrative and comprehensive review. Food res. Intern. 119: 769-776.
37. Moya-León, M.A., E. Mattus and R. Herrera. 2019. Molecular events occurring during softening of strawberry fruit. Front. Plant Sci. 10(615): 1-11.
38. Nishizawa, T., S. Nagasawa, J.B. Retamales, A. Lavín and Y. Motomura. 2002. Comparison of cell wall components between *Fragaria x ananassa* and *Fragaria chiloensis* grown in Chile. The J. of Hort. Sci. And Biot. 77(4): 404-410.
39. Nishizawa, T., S. Nagasawa, S. Mori, Y. Kondo, Y. Sasaki, J.B. Retamales and A. Lavín. 2005. Characteristics of soluble sugar accumulation in commercially grow *Fragaria chiloensis*. HortSci. 40(6): 1647-1648.
40. Lara, I. 2013. Bases bioquímicas y fisiológicas de la maduración. pp: 75-116. En. I. Viñas, I. Recasens, J. Usall y J. Graell. Poscosecha de pera, manzana y melocotón. Mundi-Prensa. España.
41. Paliyath, G., D. Murr, A. Handa and S. Lurie. 2008. Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers. Wiley-Blackwell. USA.
42. Pardo, O. y J. L. Pizarro. 2013. Chile: Plantas Alimentarias Prehispánicas. Ediciones Parina EIRL. Arica, Chile
43. Pefaur, J. 2020. Boletín de fruta, noviembre 2020 [en línea]. ODEPA. <<https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-noviembre-2020>>. [Consulta: 5 de Enero 2021].
44. Posé, S., C. Paniahua, A. Matas, A.P. Gunning, V. Morris, M. Quesada and J. Mercado. 2019. A nanostructural view of the cell wall disassembly process during fruit ripening and postharvest storage by atomic force microscopy. Trends in food scien. & techn. 87:47-58
45. Prasanna, V., T. Prabha and R. Tharanathan. 2007. Fruit ripening phenomena—an overview. Critic. Rev. in Food Scien. and Nutr. 47 (1):1–19.

46. Prat, L., M. Espinoza, E. Agosin and H. Silva. 2013. Identification of volatile compounds associated with the aroma of white strawberries (*Fragaria chiloensis*). J. of the scien. of food and agricult. 94(4): 752-759.
47. Ramos, J., M. A. Moya-León y D. Urbina. 2018. Estudio de expresión de factores de transcripción de tipo MADS-BOX de *Fragaria chiloensis*. Tesis doctoral, Universidad de Talca de Chile. Escuela de Tecnología Médica. Talca, Chile.
48. Retamales, J., P. 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. HortScien. 40(6): 1633-1634.
49. Rosli, G. 2007. Degradación de pared celular en frutillas. Análisis de sus componentes, evolución de la actividad enzimática y expresión de genes asociados. Tesis para optar el Título de Doctor en Biología Molecular y Biotecnología. Universidad Nacional de General San Martín. San Martín, Argentina.
50. Ruz, C. 2011. Estudio de mercado de frutilla nativa (*Fragaria chiloensis* (L. Duch)) en la Región Metropolitana. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo, Universidad de Talca, Escuela de Agronomía. Talca, Chile.
51. Saavedra, G., N. Figueroa, L. Poblete, S. Cherian and C. Figueroa. 2016. Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. Food chemistry. 190: 448- 453.
52. Saavedra, G., E. Sanfuentes, P. Figueroa and C. 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. 18(7): 1420.
53. Santiago, M. 2016. Caracterización de la pared celular de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cambios durante el desarrollo y efectos del silenciamiento de un gen de liasa. Tesis Doctoral, Area de Fisiología Vegetal, Universidad Pectato de Malaga, Departamento de Biología Vegetal. Málaga, España.
54. Salvatierra, A., P. Pimentel, M. Moya-León and R. Herrera. 2010. Biosynthesis of flavonoids in achenes of *Fragaria chiloensis* ssp. *chiloensis*. Bol. Lat. y del C. de Pl. Med. Y Aro. 13(4). 406-414.

- 55.Schmeda-Hirschmann, G., M. Simirgiotis and J.Cheel. 2011. Chemistry of the chilean strawberry (*Fragaria chiloensis* spp. *chiloensis*). Genes, Genomes and Genomics.5:85-90.
- 56.Schmeda-Hirschmann G., F. Jiménez, C. Theoduloz and A. Ladio. 2019. Patagonian berries as native food and medicine. J. of Eth. (241): 111979.
- 57.Simirgiotis, M.J. and G. Schmeda-Hirschmann. 2010. Determination of phenolic composition and antioxidant activity in fruits, rhizomes and leaves of the white stawberry (*Fragaria chiloensis chiloensis* spp. *chiloensis* form *chiloensis*) using HPLC-DAD-ESI-MS and free radical quenching techniques. J. of F. Comp. And A. 23(6): 545-553.
- 58.Somerville, C., S. Bauer, G. Brininstool, M. Facette, T. Hamann, J. Milne, E. Osborne, A. Paredez, S. Persson, T. Raab, S. Vorwerk and H. Youngs. 2004. Toward a systems approach to understanding plant cell walls. Science. 306(5705): 2206-2211.
- 59.Undurraga, P. y S. Vargas. 2013. Manual de frutilla. Boletín INIA N°262. Instituto de investigaciones agropecuarias INIA. Centro regional de investigación Quilamapu. Chillan, Chile.
- 60.Valdenegro, M., L. Fuentes, A. Urtubia, R. Herrera and M. Moya. 2010. Modified atmosphere packaging preserves quality and antioxidant properties in *Fragaria chiloensis*. Journal of Biotechnology. (150): 335.
- 61.Williner, M.R. 2001. Ácido elágico en frutillas enteras y mínimamente procesadas. Tesis, Magister en Ciencias y Tecnología de los Alimentos. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química. Santa Fe, Argentina.
- 62.Zapata, L., A. Malleret, C. Quinteros, C. Lesa, C. Vuarant, M. Rivadeneira y J. Gerard. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándonos durante su maduración. Ciencia, docencia y tecnología. 41: 159-171.