



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN CÁLCICA AL SUELO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA FRUTA EN CEREZOS *Prunus avium* (L.) VARIEDAD SANTINA

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola.

PAULA ANDREA MORALES CASTRO

Directores de Tesis

JOSÉ IGNACIO COVARRUBIAS PEÑA
REINALDO ISMAEL CAMPOS VARGAS

Profesores Consejeros

KAREN XIMENA SAGREDO URRA
VICTOR HUGO ESCALONA CONTRERAS

SANTIAGO - CHILE

2024

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN CÁLCICA AL SUELO PARA MEJORAR LA CALIDAD
DE LA FRUTA EN CEREZOS *Prunus avium* (L.) VARIEDAD SANTINA

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de Magíster en
Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola.

PAULA ANDREA MORALES CASTRO

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTORES DE TESIS		
José Ignacio Covarrubias Peña Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dr.	7,0 	7,0
Reinaldo Ismael Campos Vargas Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,6 	6,6
PROFESORES CONSEJEROS		
Karen Ximena Sagredo Urra Ingeniera Agrónoma, Ph. D.	6,8	6,8
Víctor Hugo Escalona Contreras Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,5 	6,5

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A Dios por sus bendiciones, especialmente esta.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional durante todos estos años de estudio.

A mis amigos de la universidad por su cariño, compañía y risas.

A mis directores de tesis José Ignacio Covarrubias y Reinaldo Campos por su confianza y entrega durante la realización de esta tesis.

A la Agrícola Santa Amelia Fundo La Torina por facilitar su predio para el desarrollo de este ensayo.

A las personas de cada laboratorio en el que estuve por su dedicación y paciencia para enseñarme y resolver mis dudas.

ÍNDICE

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVOS	4
Objetivo General	4
Objetivos específicos.....	4
MATERIALES Y MÉTODOS	5
Ubicación del ensayo.....	5
Material vegetal.....	5
Tratamientos y diseño experimental.....	5
Manejo del experimento.....	6
Evaluaciones.....	7
Análisis estadístico	9
RESULTADOS.....	10
Macronutrientes y micronutrientes totales	10
Calcio en la pared celular	11
Dureza de los frutos.....	12
Cohesividad de los frutos	12
Diámetro de los frutos	13
Croma de los frutos	13
Luminosidad de los frutos	14
Tonalidad de los frutos	14
Sólidos solubles de los frutos	15
Acidez titulable de los frutos.....	15
Pardeamiento de los pedicelos	16
DISCUSIÓN	18
CONCLUSIONES	21

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tratamientos con sus respectivas dosis de Ca y momento de aplicación en cerezos ‘Santina’.....	5
Cuadro 2. Macronutrientes (%) y micronutrientes (mg kg ⁻¹) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha.	10
Cuadro 3. Macronutrientes (%) y micronutrientes (mg/kg) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C.	10
Cuadro 4. Macronutrientes (%) y micronutrientes (mg/kg) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más dos días a 20°C.	11
Cuadro 5. Porcentaje de calcio en la pared celular de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	11
Cuadro 6. Dureza de las cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	12
Cuadro 7. Cohesividad de las cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.....	12
Cuadro 8. Diámetro de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	13
Cuadro 9. Cromo de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	13
Cuadro 10. Luminosidad de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.....	14

Cuadro 11. Tono de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	14
Cuadro 12. Sólidos solubles de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.....	15
Cuadro 13. Acidez de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	15
Cuadro 14. Pardeamiento de pedicelos de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca. Evaluados con una escala de severidad 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C.	16
Cuadro 15. Pardeamiento de pedicelos de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca. Evaluados con una escala de severidad 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.	16

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de bloques, unidades experimentales, unidades de observación y tratamientos en el huerto.	6
---	---

Índice de apéndices

Apéndice 1. Escala subjetiva de pardeamiento de pedicelo elaborada por esta autora al momento de la evaluación en cerezas ‘Santina’ tratadas con distintas dosis de Ca, donde 1 = sin pardeamiento; 2 = leve; 3 = moderado y 4 = severo.	26
---	----

RESUMEN

La producción y exportación de cerezas en Chile ha presentado un gran crecimiento en los últimos años, y junto con ello han aumentado las exigencias de los mercados, por lo cual obtener fruta de buena calidad es fundamental. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de distintas dosis de calcio al suelo en plena flor y dieciséis días después de plena flor sobre la concentración de calcio total, en la pared celular y en variables asociadas a la calidad de cerezas 'Santina' a cosecha, luego de almacenaje refrigerado y de simulación de anaquel. Los tratamientos fueron distribuidos en el huerto de acuerdo a un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados. Los resultados indican que la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de Ca aumenta el porcentaje de calcio total a salida de frío e incrementa la dureza a cosecha y después de almacenamiento refrigerado, sin embargo, disminuye el diámetro de los frutos. Por otra parte, el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ presentó una menor cohesividad de la fruta a cosecha en comparación con el testigo y los tratamientos de 10 y 40 kg ha⁻¹ de Ca. Los tratamientos en general no influyeron en el porcentaje de calcio en la pared celular, el color y los sólidos solubles. En base a lo anterior, la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de Ca al suelo incrementa el calcio total y permite mejorar la calidad de la fruta al aumentar la firmeza de las cerezas a cosecha y a salida de frío.

Palabras claves: calcio, dosis, firmeza, dureza, nutrición mineral, postcosecha.

ABSTRACT

The production and export of cherries in Chile has shown a great growth in recent years, and along with this, market demands have increased, so it is essential to obtain good quality fruit. The objective of this study was to determine the effect of applying different doses of calcium to the soil at full blossom and sixteen days after full blossom on the concentration of total calcium in the cell wall and on variables associated with the quality of 'Santina' cherries at harvest, after refrigerated storage and shelf simulation. The treatments were distributed in the orchard according to a completely randomized block experimental design. The results indicate that the application of 20 kg ha⁻¹ of Ca increases the percentage of total calcium at cold start and increases hardness at harvest and after refrigerated storage but decreases fruit diameter. On the other hand, the 20 kg ha⁻¹ treatment showed lower fruit cohesiveness at harvest compared to the control and the 10 and 40 kg ha⁻¹ Ca treatments. In general, the treatments did not influence the percentage of calcium in the cell wall, color and soluble solids. Based on the above, the application of 20 kg ha⁻¹ of Ca to the soil increased total calcium and improved fruit quality by increasing the firmness of the cherries at harvest and at chilling.

Key words: calcium, dose, firmness, hardness, mineral nutrition, postharvest.

INTRODUCCIÓN

En Chile, la superficie destinada a la producción de cerezas ha experimentado un gran crecimiento en los últimos veinte años. Según ODEPA (2023), en 2004 la superficie total era de 7 mil hectáreas, mientras que para el año 2022 se contabilizaron 61.559 hectáreas que se extienden desde la región de Coquimbo hasta Aysén, siendo la región del Maule la principal productora con un total de 27.816 hectáreas. Esta superficie posiciona al cerezo como el principal frutal cultivado en Chile, superando al nogal y a la uva de mesa (ODEPA, 2023).

Existen distintas variedades de cerezo dulce en el mundo, sin embargo, en Chile las principales variedades cultivadas son Lapins, Santina, Regina, Bing, Sweetheart, Royal Dawn, Skeena, Kordia, Rainier y Stella (iQonsulting, 2023). De estas, las tres primeras abarcan un 78% de la oferta de cerezas hacia el extranjero. Según iQonsulting (2023), Lapins es la variedad más exportada por el país con un volumen total de 148.939 toneladas, seguida por Santina y Regina con volúmenes de 110.838 y 63.549 toneladas para la temporada 2022/23 respectivamente.

El principal mercado de destino de las cerezas chilenas es China, país al cual se envía el 88% del total de las exportaciones (iQonsulting, 2023). Los envíos desde Chile coinciden con la festividad más importante de este país, el año nuevo chino o fiesta de la primavera, en la cual la demanda de estos frutos aumenta. Cabe mencionar que los habitantes de esta nación consideran a la cereza como un alimento de lujo que es sinónimo de perfección y prosperidad debido a su forma redonda y color (Quiroz, 2017).

Dado que China se encuentra a una distancia considerable de nuestro país, el transporte de la cereza a este mercado significa importantes desafíos tecnológicos. En términos generales se puede mencionar que el periodo de almacenamiento de postcosecha vía marítima es de 45 días a 0°C (Zoffoli *et al.*, 2017), aunque se han registrado hasta 60 días. Esto significa que el tiempo que transcurre entre la cosecha y el consumo es bastante amplio. En este lapso se pueden producir problemas que afectan a la calidad de las cerezas como la pérdida de firmeza de los frutos, la deshidratación y pardeamiento del pedicelo, daños mecánicos tales como pitting y machucos (o bruising en inglés), y las podredumbres en la pulpa de la fruta (Winkler and Knoche, 2019). Debido a esta situación es importante obtener fruta que sea firme, ya que influye directamente en la capacidad de almacenamiento, la susceptibilidad al daño mecánico y a las infecciones por microorganismos. Además, los consumidores valoran este atributo y desean que la pulpa sea firme, lo cual en términos de textura es equivalente a una dureza de 2,6 a 4,7 N (Hampson *et al.*, 2014).

A grandes rasgos, se ha documentado que el Ca es relevante en distintos procesos fisiológicos, pero principalmente en la transducción de señales como mensajero secundario, el control de la expresión génica y la regulación de proteínas, el mantenimiento y la regulación de la permeabilidad de la membrana y el refuerzo estructural de los componentes de la pared celular (Winkler and Knoche, 2019). En relación con estos últimos procesos el Ca tiene un rol importante en el metabolismo de la fruta, debido a que modifica las propiedades físicas de la pared celular al interactuar con las pectinas, en particular en las

zonas no esterificadas de los homogalacturonanos, generando una conformación denominada caja de huevos (Olmedo *et al.*, 2021). Las pectinas son uno de los principales componentes de la lámina media de la pared celular y las responsables de desarrollar un papel crítico debido a la influencia que tienen en la porosidad, la permeabilidad y la elasticidad de esta (Salazar y Gamboa, 2013). Por lo tanto, una mayor concentración de este mineral en la fruta podría influir en la regulación de estos procesos y de esta forma incrementar la firmeza de los frutos y retrasar el ablandamiento de estos.

El Ca está disponible en la solución suelo como Ca^{2+} y su movimiento desde el suelo hacia la raíz ocurre de forma pasiva mediante flujo de masas. Una vez que se encuentra en la zona de absorción de las raíces puede moverse hacia el xilema por vía apoplástica, simplástica o ambas, no obstante, se mueve preferentemente por el apoplasto (White, 2001).

Dentro de la planta el Ca se mueve principalmente a través del xilema, por lo cual su transporte y acumulación en los distintos órganos y estructuras de la planta está sujeto a la transpiración. La tasa de transpiración por su parte está directamente relacionada con la superficie y la densidad de estomas presentes en las hojas o en los frutos (Winkler and Knoche, 2019). Las hojas presentan una mayor acumulación de Ca, debido a que su tasa transpiratoria es mayor, no así los frutos, los cuales en comparación con estas presentan una tasa transpiratoria menor. Sin embargo, a lo largo del crecimiento y desarrollo del fruto, específicamente en la etapa de fructificación o cuaja del fruto es cuando estos presentan la tasa máxima de transpiración, por lo tanto, es en este momento del desarrollo del fruto en que la acumulación de Ca es mayor. La tasa de flujo del xilema hacia los diferentes tejidos de la fruta está influenciado además por el desarrollo de los vasos, su diámetro y la conectividad de estos. Asimismo, las propiedades estructurales de la pared celular influyen en este movimiento tanto en los vasos del xilema como en el mesocarpio del fruto y los tejidos epidérmicos (Hocking *et al.*, 2016).

El contenido total de Ca en los frutos se clasifica dependiendo de su solubilidad y actividad fisiológica. Este puede ser Ca soluble en agua asociado a compuestos como ácidos orgánicos, cloruros y nitratos, Ca intercambiable adsorbido en pectinas y proteínas y Ca no fisiológicamente activo, como oxalato de Ca, fosfatos y carbonatos. En la fase inicial del crecimiento del fruto gran parte del Ca permanece soluble en agua o débilmente unido a pectinas y proteínas, sin embargo, hacia la cosecha la proporción de este unido en la estructura sólida aumenta (Jáuregui *et al.*, 2003; Saure, 2005).

La pared celular está conformada por celulosa, hemicelulosa y pectinas. Las pectinas son el componente más complejo de la pared celular y comprenden principalmente tres polisacáridos: homogalacturonanos (HGs), ramnogalacturonanos I (RGIs) y ramnogalacturonanos II (RGIIs) (Olmedo *et al.*, 2021). Los HGs son un homopolímero lineal de ácido galacturónico de enlace α -1-4 y conforman alrededor del 65% de las pectinas. El HG está parcialmente metilesterificado en el carboxilo C-6, y puede estar *O*-acetilado en el *O*-2 u *O*-3 (Mohnen, 2008). La presencia de este grupo carboxilo cargado en los HG poco o nada metilesterificados le confiere propiedades polielectrolíticas, de las que dependen muchas de las funciones y características de este polisacárido. Entre ellas la formación de puentes iónicos mediante calcio y otros cationes divalentes (Waldron and Faulds, 2007). La interacción de un mínimo de nueve residuos de ácido galacturónico con Ca^{2+} promueve la formación de las estructuras denominadas "caja de huevos", las cuales aumentan la rigidez

de la pared al establecerse una interacción entre dos moléculas de HG adyacentes (Salazar y Gamboa, 2013).

Entre los aspectos de calidad de la cereza se desea una mayor firmeza, ya que este es uno de los atributos más valorados por los consumidores y el cual permite una vida útil de postcosecha mayor. Con el fin de lograr tal propósito se han realizado diversos estudios para determinar la relación entre aplicaciones de Ca y la firmeza de los frutos. En cerezas existen estudios que demuestran que mediante pulverizaciones o inmersiones hay un efecto positivo en la calidad de la fruta (Wang y Long, 2015; Belge *et al.*, 2017; Measham *et al.*, 2017), sin embargo, también existen estudios que contradicen esta afirmación (Clayton *et al.*, 2003; Candan *et al.*, 2014). Cabe destacar que hay pocos estudios que contemplen aplicaciones de Ca al suelo y sus efectos en la calidad de las cerezas, como consecuencia de esto también se desconoce cuál sería una dosis adecuada de este mineral que permitiera que la solución suelo estuviera saturada de este macronutriente en etapas tempranas del crecimiento de los frutos con el fin de alcanzar un líquido xilemático enriquecido en Ca, y por ende un mayor suministro hacía los frutos. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo estudiar la eficacia de aplicaciones tempranas de distintas dosis de Ca al suelo y evaluar su efecto en la calidad de cerezas ‘Santina’ a cosecha y en postcosecha.

HIPÓTESIS

Aplicaciones crecientes de calcio al suelo en plena flor y 16 días después de plena flor incrementan la concentración de calcio en cerezas ‘Santina’, mejorando su calidad.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la relación entre distintas dosis de calcio al suelo y la calidad de cerezas ‘Santina’.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de la aplicación de distintas dosis de calcio al suelo sobre la concentración total y en la pared celular de las cerezas ‘Santina’ a la cosecha, luego de almacenaje refrigerado y simulación de anaquel.
2. Evaluar el efecto de la aplicación de distintas dosis de calcio al suelo en variables relativas a la calidad de las cerezas ‘Santina’ a la cosecha, luego de almacenaje refrigerado y simulación de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El ensayo se realizó en la localidad de Pichidegua, Provincia del Cachapoal, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Fundo La Torina (34°35' S -71°29' W), perteneciente a la empresa Agrícola Santa Amelia. Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal, el Laboratorio de Fisiología Vegetal y el Centro de Estudios de Postcosecha (CEPOC), pertenecientes al Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana.

Material vegetal

En el experimento se utilizaron árboles de cerezo variedad Santina injertados sobre el portainjerto MaxMa 14, de cinco años de edad. Los árboles están formados en un sistema de conducción en eje central, plantados a una densidad de 4,5 x 2,5 m, y las hileras de plantación están dispuestas en orientación norte-sur.

Tratamientos y diseño experimental

En el estudio se establecieron cuatro tratamientos consistentes en distintas dosis de calcio con cinco repeticiones de cada uno, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos con sus respectivas dosis de Ca y momento de aplicación en cerezos 'Santina'.

Tratamiento	Dosis Ca (kg) por hectárea	Dosis Ca (g) por planta	Momento de aplicación
T0	0	0	-
T1	10 kg ha ⁻¹	11,25 g planta ⁻¹	Plena flor y 16 DDPF
T2	20 kg ha ⁻¹	22,50 g planta ⁻¹	Plena flor y 16 DDPF
T3	40 kg ha ⁻¹	45,00 g planta ⁻¹	Plena flor y 16 DDPF

La dosis total para cada tratamiento fue parcializada en dos aplicaciones: la primera en plena flor y la segunda 16 días después de plena flor (DDPF). Las aplicaciones se realizaron de manera manual, mediante un contenedor graduado, aplicando la dosis correspondiente a cada

árbol bajo los cuatro goteros más cercanos a este, previo a un riego de una hora para incorporar el producto.

Como fuente de calcio se utilizó el fertilizante CalcioMax 35 Flo® (Agrospec, Chile) para aplicaciones vía riego tecnificado. Su formulación es una suspensión concentrada y su composición es CaO 35% p/p y 47% p/v.

Los tratamientos fueron distribuidos en el huerto de acuerdo a un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados, como indica la Figura 1. Cada bloque correspondió a una hilera, mientras que la unidad experimental (UE) estaba conformada por tres plantas, siendo la planta central la unidad de observación (UO).

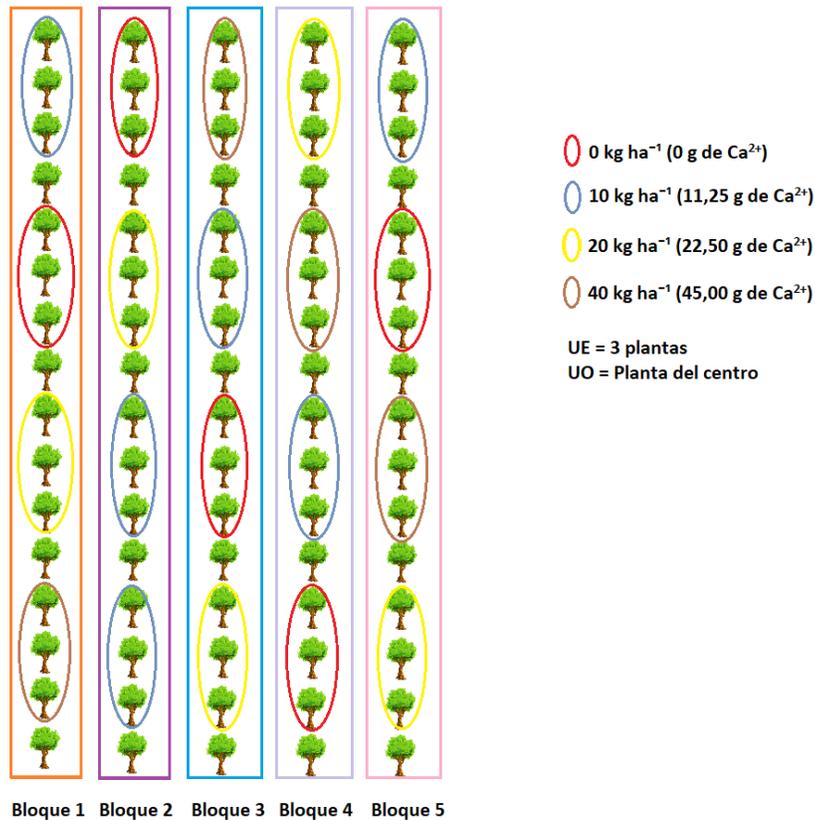


Figura 1. Distribución de bloques, unidades experimentales, unidades de observación y tratamientos en el huerto.

Manejo del experimento

El cuartel en donde se estableció el ensayo cuenta con una superficie de 3,14 ha. El tipo de suelo es franco arcilloso y en la temporada anterior se aplicaron 10 unidades de Ca por ha.

El huerto cuenta con un rendimiento promedio de 10.000 kg ha⁻¹, equivalente a 2.000 cajas de 5 kg en promedio. El control fitosanitario y de malezas, las prácticas culturales de poda,

raleo, fertilización a excepción del Ca, así como el resto de los manejos requeridos para la producción de fruta, se realizaron de acuerdo al manejo comercial despuesto por la administración del campo.

El criterio de cosecha de la fruta fue el color rojo caoba.

La fruta en postcosecha fue almacenada en cámaras de frío a 0°C, en cajas de 5 kg con bolsas de atmosfera modificada.

Evaluaciones

Evaluaciones a cosecha

La cantidad de fruta cosechada por árbol fue de 5 kg. Se seleccionaron frutos visualmente similares en calibre y sin defectos externos.

Las evaluaciones de variables relativas a la calidad de los frutos se determinaron en distintos números de frutos por UO dependiendo de la evaluación. Estos fueron evaluados a cosecha, a salida de frío (33 días a 0°C) y después de 2 días a 20°C posterior al almacenamiento refrigerado.

Determinación de minerales totales: La determinación de fósforo (P) potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B) y cobre (Cu) se realizó congelando 3 frutos por UO escogidos al azar con nitrógeno líquido, para posteriormente triturarlos en un mortero y guardarlos en bolsas de plástico. Las bolsas se introdujeron en un liofilizador durante 8 días hasta que las muestras estuvieran secas. Luego se pesaron 150 mg de cada muestra, los que fueron sometidos a una primera fase de digestión ácida en frascos duran-shot con 6 mL de ácido nítrico (Merck), 10 mL de agua destilada y 4 mL de peróxido de hidrógeno (Merck). Se dejaron las muestras en digestión en la cámara de extracción durante 12 horas, para luego ser autoclavadas a 121°C por 1 hora a una presión de 0,1 MPa. El líquido resultante de la mineralización fue filtrado y diluido hasta completar los 20 mL con agua desionizada. Finalmente, la lectura de las muestras mineralizadas se realizó en un Espectrómetro por Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP- AES modelo 4200, Agilent Technologies, EE. UU). Se usaron 4 estándares y un blanco para obtener curvas de calibración (Molina y Covarrubias, 2019).

Determinación de Ca²⁺ en la pared celular: La determinación del porcentaje de Ca en la pared celular se realizó en 4 frutos por UO escogidos al azar utilizando la preparación de RIA (Residuo Insoluble en Alcohol). Los frutos fueron congelados con nitrógeno líquido y molidos en un mortero hasta obtener un polvo homogéneo, del cual se extrajeron 7 g y se introdujeron en un tubo Falcon de 50 mL, posteriormente se aforó hasta 35 mL con etanol al 80% (Winkler) y se colocaron en baño termostático (Mettler, DIN 40050 – IP 20, Alemania) durante 20 minutos a 80°C. Las muestras se dejaron enfriar por 20 minutos y se centrifugaron en una centrifuga (Hettich, D-78532 Tuttlingen, Alemania) a 4000 rpm durante 10 minutos a temperatura ambiente (alrededor de 25°C). El sobrenadante fue descartado y el pellet que se formó fue suspendido en etanol al 80% aforando hasta 20 mL,

luego se utilizó un vortex (Vision Scientific Co., LTD, KMC-1300V, Corea del Sur) y después se agitaron en un Shaker (Vision Scientific Co., LTD, VS-201D, Corea del Sur) a 200 rpm durante 30 minutos, posterior a esto las muestras fueron llevadas a la centrifuga con los ajustes mencionados anteriormente, este paso desde la suspensión en etanol al 80% hasta la centrifugación se repitió dos veces más. Después de esto el sobrenadante fue desechado y la muestra fue resuspendida en etanol al 95% (Winkler), agitada en vortex y centrifugada. El sobrenadante fue descartado nuevamente y la muestra fue resuspendida en acetona al 100% (Winkler), agitada en vortex y centrifugada dos veces, el sobrenadante se descartó y las muestras se dejaron secar durante 12 horas en un horno a 40°C (Ejsmentewicz *et al.*, 2015).

Se pesaron 80 mg de cada muestra, los que fueron sometidos a una primera fase de digestión ácida en botellas duran-shot con 6 mL de ácido nítrico (Merck), 10 mL de agua destilada y 4 mL de peróxido de hidrógeno (Merck). Se dejaron las muestras en digestión en la cámara de extracción durante 12 horas, para luego ser autoclavadas a 121°C por 1 hora a una presión de 0,1 MPa. El líquido resultante de la mineralización fue filtrado y diluido hasta completar los 20 mL con agua desionizada. Finalmente, la lectura de las muestras mineralizadas se realizó en un Espectrómetro por Emisión Atómica por Plasma de Microondas (MP- AES modelo 4200, Agilent Technologies, EE. UU). Se usaron 4 estándares y un blanco para obtener curvas de calibración (Molina y Covarrubias, 2019).

Dureza y cohesividad de los frutos: Se evaluó en 10 frutos por UO. Estos fueron sometidos a una prueba de doble compresión utilizando un analizador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) equipado con una célula de carga de 5 kg y una sonda de superficie plana (2,5 x 2,5 cm). La fuerza (N) fue medida sobre la zona ecuatorial de la fruta con los siguientes ajustes: La velocidad de pre-ensayo fue de 2 mm s⁻¹, la velocidad de ensayo de 1 mm s⁻¹, la velocidad post-ensayo de 5 mm s⁻¹ y la fuerza de activación de 0,049 N. Cada fruto fue comprimido dos veces hasta una deformación del 20% durante 2 segundos. A partir de la prueba de doble compresión se obtuvo el pico positivo de fuerza y las áreas bajo la curva de ambas compresiones, con estos datos se realizó un análisis de perfil de textura TPA, con el cual se obtuvieron dos parámetros texturales dureza y cohesividad, los cuales según la Asociación Española de Normalización se obtienen y definen respectivamente como:

1. Dureza o fuerza máxima ejercida en el primer ciclo de compresión. Relativa a la fuerza necesaria para deformar el alimento o hacer penetrar un objeto en él.
2. Cohesividad o relación de las áreas originadas en los dos ciclos de compresión y representa el trabajo necesario para comprimir la muestra por segunda vez respecto al que ha sido necesario para comprimir la primera vez. Relativa al grado de deformación de un producto antes de romperse.

Diámetro de los frutos: Se midió el diámetro ecuatorial de 20 frutos por UO con un pie de metro digital (Bull tools, Ubermann), el valor se expresó en mm.

Color de los frutos: Se evaluó en 20 frutos por UO sobre la zona ecuatorial de estos, para lo cual se utilizó un colorímetro compacto triestímulo (Minolta Chroma meter, CM – 2500d, Estados Unidos) que entregó valores de luminosidad (L), croma (C) y tono (Hue).

Sólidos solubles: Se evaluó utilizando una muestra compuesta de 5 frutos por UO a los cuales se les extrajo jugo con un extractor (EX – 750BL, Sindelen, República Popular China), la concentración de sólidos solubles fue medida en un refractómetro termocompensado (DR – A1, ATAGO Co., Ltd. Minato-ku, Japón) y los resultados fueron expresados en grados Brix.

Acidez titulable (%): Se evaluó utilizando 5 mL del mismo jugo que se extrajo para la evaluación de sólidos solubles, estos fueron diluidos en 150 mL de agua destilada, luego esta solución fue llevada a pH 8,2 utilizando un medidor de pH mediante una titulación con NaOH 0,1 N; los resultados fueron expresados en porcentaje del ácido málico.

$$\text{Acidez (\%)} = (V * C * F * 100) / M$$

V: volumen de NaOH utilizado (mL)

C: concentración de NaOH (N)

M: volumen de muestra utilizado (mL)

F: factor de ácido málico = 0,067

Pardeamiento del pedicelo: Se evaluó la apariencia del pedicelo de 20 frutos por UO, utilizando una escala visual de severidad. Los resultados se expresaron como porcentaje de frutos por categoría de apariencia 1 a 4 donde: 1 = sin pardeamiento; 2 = leve; 3 = moderado y 4 = severo.

Evaluaciones en postcosecha

Al término del período de almacenamiento refrigerado a 0 °C por 33 días y del período de simulación en estantería (2 días a 20 °C), se realizaron las mismas evaluaciones relativas a la calidad de los frutos indicadas anteriormente (cosecha).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat y el lenguaje de programación R a través del módulo de modelos lineales mixtos. Debido a que las variables de interés son evaluadas a través del tiempo el análisis de los datos se realizó con estructura de parcela dividida, en donde los tratamientos contemplaron la combinación del factor dosis de calcio, con 4 niveles y el factor tiempo de evaluación, con 3 niveles. En el caso de encontrar la interacción significativa o en su defecto los factores actuando de manera independiente se realizará la prueba de comparaciones múltiples de Fisher ($p > 0,05$).

RESULTADOS

Macronutrientes y micronutrientes totales

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de distintas dosis de Ca no modificó la concentración de macronutrientes totales en porcentaje de peso seco (PS) y de micronutrientes totales en mg por kilogramo de PS de los frutos a la cosecha (Cuadro 2). Por su parte, Zn y Mn no fueron detectados, lo que indica que las concentraciones de estos micronutrientes fueron muy bajas en la fruta.

Cuadro 2. Macronutrientes (% de PS) y micronutrientes (mg kg⁻¹ de PS) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha.

Tratamiento	Macronutrientes % de PS				Micronutrientes mg kg ⁻¹ de PS				
	Cosecha								
	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B	Cu
Sin Ca	0,12	1,14	0,07	0,05	29,81	nd	nd	45,24	7,16
10 kg ha ⁻¹ de Ca	0,12	1,06	0,06	0,04	21,53	nd	nd	39,73	4,66
20 kg ha ⁻¹ de Ca	0,13	1,15	0,07	0,05	22,58	nd	nd	45,51	5,02
40 kg ha ⁻¹ de Ca	0,12	1,12	0,07	0,04	20,41	nd	nd	44,49	4,70
P-valor	0,434	0,382	0,155	0,134	0,818	-	-	0,488	0,335

nd = no detectado.

Por otra parte, la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de Ca al suelo incrementó el porcentaje de Ca total en la fruta a los 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C en comparación con el testigo y el resto de los tratamientos (Cuadro 3). Respecto a los demás nutrientes, se observa que no fueron influenciados por la aplicación de los tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Macronutrientes (% de PS) y micronutrientes (mg kg⁻¹ de PS) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C.

Tratamiento	Macronutrientes % de PS				Micronutrientes mg kg ⁻¹ de PS				
	33 días a 0°C								
	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B	Cu
Sin Ca	0,08	1,03	0,06 b	0,05	24,57	4,89	nd	49,74	11,65
10 kg ha ⁻¹ de Ca	0,07	1,07	0,06 b	0,05	20,90	3,96	nd	58,35	6,81
20 kg ha ⁻¹ de Ca	0,06	1,00	0,07 a	0,05	14,45	3,05	nd	64,45	6,55
40 kg ha ⁻¹ de Ca	0,07	1,02	0,06 b	0,05	17,73	5,15	nd	59,12	5,94
P-valor	0,482	0,621	0,044	0,794	0,120	0,916	-	0,632	0,290

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$, nd = no detectado.

Al término del periodo de simulación de estantería no se observó la influencia de los tratamientos sobre los minerales totales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Macronutrientes (% de PS) y micronutrientes (mg kg^{-1} de PS) totales de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más dos días a 20°C .

Tratamiento	Macronutrientes % de PS				Micronutrientes mg kg^{-1} de PS				
	33 días a 0°C más 2 días a 20°C								
	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B	Cu
Sin Ca	0,12	1,07	0,07	0,04	23,67	9,48	nd	53,66	10,63
10 kg ha^{-1} de Ca	0,13	1,13	0,06	0,04	21,01	4,19	nd	67,77	8,02
20 kg ha^{-1} de Ca	0,12	1,08	0,07	0,04	18,03	4,75	nd	50,24	7,25
40 kg ha^{-1} de Ca	0,11	1,06	0,07	0,04	34,14	5,12	nd	60,42	7,28
P-valor	0,463	0,679	0,851	0,801	0,294	0,272	-	0,461	0,461

nd = no detectado.

Calcio en la pared celular

El porcentaje de Ca en la pared celular en base a peso fresco (PF) de las cerezas no fue modificado por la aplicación de las distintas dosis de calcio en los tres períodos de evaluación (Cuadro 5). Sin embargo, entre cosecha y salida de frío aumento en todos los tratamientos el porcentaje de Ca (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de calcio en la pared celular de cerezas ‘Santina’ en base a peso fresco (PF) provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C .

Tratamiento	Calcio en la pared celular % en base a PF		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
	Sin Ca	$0,26 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,04$
10 kg ha^{-1} de Ca	$0,29 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,04$	$0,33 \pm 0,01$
20 kg ha^{-1} de Ca	$0,25 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,01$
40 kg ha^{-1} de Ca	$0,25 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,04$	$0,36 \pm 0,01$
p-valor	0,385	0,278	0,065

Dureza de los frutos

La dureza de las cerezas aumentó a cosecha y 33 días después de almacenamiento en frío con el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ de Ca, en contraste con el testigo y los demás tratamientos (Cuadro 6). Sin embargo, esta diferencia entre tratamientos no se observó al término del periodo de simulación de estantería, donde los valores tendieron a ser similares.

Cuadro 6. Dureza de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento	Dureza de los frutos		
	N		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	2,08 ± 0,12 b	2,46 ± 0,12 b	2,26 ± 0,17
10 kg ha ⁻¹ de Ca	2,22 ± 0,12 b	2,28 ± 0,12 b	2,09 ± 0,17
20 kg ha ⁻¹ de Ca	2,65 ± 0,12 a	2,80 ± 0,12 a	2,27 ± 0,17
40 kg ha ⁻¹ de Ca	2,15 ± 0,12 b	2,11 ± 0,12 b	2,26 ± 0,17
p-valor	0,005	0,001	0,805

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

Cohesividad de los frutos

En cuanto a la cohesión de las cerezas, el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ presentó una menor cohesividad de la fruta a cosecha en comparación con el testigo y los tratamientos de 10 y 40 kg ha⁻¹ de Ca. A salida de frío, las cerezas tratadas con 40 kg ha⁻¹ mostraron una mayor cohesión en comparación con el testigo y con aquellas tratadas con 20 kg ha⁻¹ de Ca, y no se diferenciaron con el tratamiento basado en 10 kg ha⁻¹ de Ca (Cuadro 7). Sin embargo, a salida de frío más 2 días a 20°C los valores fueron similares y no se observaron diferencias.

Cuadro 7. Cohesividad de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento	Cohesividad de los frutos		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	0,82 ± 0,01 ab	0,79 ± 0,01 b	0,83 ± 0,01
10 kg ha ⁻¹ de Ca	0,83 ± 0,01 a	0,81 ± 0,01 ab	0,82 ± 0,01
20 kg ha ⁻¹ de Ca	0,80 ± 0,01 b	0,79 ± 0,01 b	0,80 ± 0,01
40 kg ha ⁻¹ de Ca	0,83 ± 0,01 a	0,83 ± 0,01 a	0,83 ± 0,01
p-valor	0,015	0,020	0,149

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

Diámetro de los frutos

El diámetro de las cerezas fue influenciado por la aplicación de las distintas dosis de Ca al suelo. Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en las tres salidas. A cosecha los tratamientos de 10 y 40 kg ha⁻¹ presentaron un diámetro estadísticamente superior en comparación con el tratamiento de 20 kg ha⁻¹, mientras que el testigo no se diferenció de los tratamientos (Cuadro 8). A los 33 días a 0°C el tratamiento de 10 kg ha⁻¹ se comportó igual que el testigo, entretanto, el tratamiento de 40 kg ha⁻¹ obtuvo un diámetro superior y el de 20 kg ha⁻¹ presentó el menor diámetro respecto al testigo (Cuadro 8). A los 33 días a 0°C más 2 días a 20°C se observó que el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ presentó el menor diámetro en comparación con el testigo y el resto de los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Diámetro de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Diámetro de los frutos mm		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	29,0 ± 0,14 ab	28,8 ± 0,20 b	27,4 ± 0,30 a
10 kg ha ⁻¹ de Ca	29,2 ± 0,14 a	28,7 ± 0,20 b	27,8 ± 0,30 a
20 kg ha ⁻¹ de Ca	28,8 ± 0,14 b	28,1 ± 0,20 c	26,9 ± 0,30 b
40 kg ha ⁻¹ de Ca	29,3 ± 0,14 a	29,2 ± 0,20 a	27,8 ± 0,30 a
p-valor	0,0070	0,0001	0,0001

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

Croma de los frutos

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de distintas dosis de Ca no influenció el croma de los frutos a la cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C (Cuadro 9).

Cuadro 9. Croma de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Croma de los frutos
----------------------------------	---------------------

	Luminosidad de los frutos		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	30,1 ± 2,08	21,2 ± 1,46	22,6 ± 1,33
10 kg ha ⁻¹ de Ca	28,3 ± 2,08	19,4 ± 1,46	19,9 ± 1,33
20 kg ha ⁻¹ de Ca	25,6 ± 2,08	18,4 ± 1,46	19,7 ± 1,33
40 kg ha ⁻¹ de Ca	28,2 ± 2,08	21,3 ± 1,46	20,9 ± 1,33
p-valor	0,524	0,333	0,407

Luminosidad de los frutos

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de distintas dosis de Ca no influenció la luminosidad de los frutos a la cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C (Cuadro 10).

Cuadro 10. Luminosidad de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Luminosidad de los frutos		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	6,3 ± 0,58	3,4 ± 0,30	3,8 ± 0,28
10 kg ha ⁻¹ de Ca	5,2 ± 0,58	3,1 ± 0,30	3,2 ± 0,28
20 kg ha ⁻¹ de Ca	4,8 ± 0,58	2,8 ± 0,30	3,2 ± 0,28
40 kg ha ⁻¹ de Ca	5,2 ± 0,58	3,4 ± 0,30	3,4 ± 0,28
p-valor	0,334	0,308	0,392

Tonalidad de los frutos

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de distintas dosis de Ca no influenció la tonalidad de los frutos a la cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tonalidad de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Tono de los frutos		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	21,4 ± 1,80	15,1 ± 0,29	15,6 ± 0,32
10 kg ha ⁻¹ de Ca	16,5 ± 1,80	14,8 ± 0,29	14,9 ± 0,32
20 kg ha ⁻¹ de Ca	15,8 ± 1,80	14,5 ± 0,29	15,1 ± 0,32
40 kg ha ⁻¹ de Ca	16,7 ± 1,80	15,1 ± 0,29	15,2 ± 0,32

p-valor	0,166	0,298	0,536
---------	-------	-------	-------

Sólidos solubles de los frutos

Los valores de sólidos solubles no se vieron influenciados al momento de la cosecha, 33 días a 0°C y 33 días a 0°C más 2 días a 20°C por el testigo y la aplicación de dosis crecientes de Ca (Cuadro 12).

Cuadro 12. Sólidos solubles de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Sólidos solubles de los frutos Grados Brix		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	18,4 ± 0,42	19,0 ± 0,36	19,2 ± 0,36
10 kg ha ⁻¹ de Ca	19,6 ± 0,42	18,8 ± 0,36	19,8 ± 0,36
20 kg ha ⁻¹ de Ca	18,8 ± 0,42	18,2 ± 0,36	18,4 ± 0,36
40 kg ha ⁻¹ de Ca	19,2 ± 0,42	19,0 ± 0,36	19,4 ± 0,36
p-valor	0,284	0,407	0,125

Acidez titulable de los frutos

El porcentaje de acidez del jugo extraído de los frutos no fue afectado por la aplicación de las distintas dosis de calcio a cosecha y después de almacenamiento en frío (Cuadro 13). Sin embargo, a salida de simulación de anaquel se observa que el tratamiento de 10 kg ha⁻¹ presentó un mayor porcentaje de acidez que el testigo y el resto de los tratamientos, no obstante, este porcentaje realmente se mantuvo en el tiempo, si compara el mismo tratamiento entre salida de frío y simulación de anaquel (Cuadro 13).

Cuadro 13. Acidez de cerezas ‘Santina’ provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca al suelo a cosecha, 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C y 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Acidez titulable %		
	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C más 2 días a 20°C
Sin Ca	0,7 ± 0,02	0,5 ± 0,06	0,5 ± 0,03 b
10 kg ha ⁻¹ de Ca	0,7 ± 0,02	0,6 ± 0,06	0,6 ± 0,03 a
20 kg ha ⁻¹ de Ca	0,7 ± 0,02	0,5 ± 0,06	0,5 ± 0,03 b
40 kg ha ⁻¹ de Ca	0,7 ± 0,02	0,7 ± 0,06	0,5 ± 0,03 b
p-valor	0,767	0,098	0,017

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

Pardeamiento de los pedicelos

A salida de almacenamiento refrigerado no se observaron diferencias en el pardeamiento de los pedicelos entre los tratamientos. Las categorías de severidad donde se concentran el mayor número de pedicelos con esta condición son 'leve' y 'moderado' (Cuadro 14).

Cuadro 14. Pardeamiento de pedicelos de cerezas 'Santina' provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca. Evaluados con una escala de severidad 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Pardeamiento de los pedicelos			
	%			
	33 días a 0°C			
	Sin pardeamiento	Leve	Moderado	Severo
Sin Ca	0 ± 0,71	66 ± 8,59	34 ± 6,25	0 ± 4,00
10 kg ha ⁻¹ de Ca	1 ± 0,71	70 ± 8,59	29 ± 6,25	0 ± 4,00
20 kg ha ⁻¹ de Ca	0 ± 0,71	48 ± 8,59	44 ± 6,25	8 ± 4,00
40 kg ha ⁻¹ de Ca	1 ± 0,71	60 ± 8,59	39 ± 6,25	0 ± 4,00
p-valor	0,588	0,335	0,400	0,426

El pardeamiento de los pedicelos al término del período de simulación de anaquel no presentó diferencias entre el testigo y las distintas dosis de aplicaciones de Ca en las categorías de 'leve' y 'severo' (Cuadro 15). No obstante, en la categoría 'moderado' se observó que el tratamiento de 40 kg ha⁻¹ presentó un menor porcentaje de pedicelos en esta condición en comparación con el resto de los tratamientos (Cuadro 15). Cabe destacar que no hay presencia de frutos sin pardeamiento y el porcentaje de pedicelos en la categoría 'leve' disminuyó, mientras que aumentaron en las categorías 'moderado' y 'severo' (Cuadro 15) con respecto a los valores evidenciados en la salida de frío (Cuadro 14).

Cuadro 15. Pardeamiento de pedicelos de cerezas 'Santina' provenientes de árboles sometidos a la aplicación de distintas dosis de Ca. Evaluados con una escala de severidad 33 días después de almacenamiento en frío a 0°C más 2 días a 20°C.

Tratamiento (Dosis de calcio)	Pardeamiento de los frutos			
	%			
	33 días a 0°C más 2 días a 20°C			
	Sin pardeamiento	Leve	Moderado	Severo
Sin Ca	-	20 ± 4,87	74 ± 5,40 a	6 ± 6,04
10 kg ha ⁻¹ de Ca	-	13 ± 4,87	74 ± 5,40 a	13 ± 6,04
20 kg ha ⁻¹ de Ca	-	20 ± 4,87	69 ± 5,40 a	11 ± 6,04

40 kg ha ⁻¹ de Ca	-	24 ± 4,87	46 ± 5,40 b	30 ± 6,04
p-valor	-	0,469	0,009	0,074

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según prueba de rango múltiple de Fischer con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

DISCUSIÓN

El Ca es un elemento que se diferencia de los otros macroelementos por ser importado a la fruta en pequeñas cantidades. Aunque el Ca esté disponible en el suelo en la mayoría de los huertos, la carencia localizada de Ca puede convertirse en un problema, con el riesgo de grandes pérdidas económicas (Saure, 2005). Es importante recalcar las dificultades que tiene el Ca para llegar hasta la fruta, tales como, la competencia con otros cationes durante la absorción de nutrientes, su movimiento dentro de la planta exclusivamente a través del xilema, la pérdida de funcionalidad del xilema del fruto durante el desarrollo y por último la alta tasa de crecimiento de los frutos hacía el final de su desarrollo hace que las concentraciones de Ca disminuyan progresivamente en el fruto por dilución (Winkler *et al.*, 2019). En este estudio, el porcentaje de macronutrientes (K, P, Ca y Mg) y de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B y Cu) totales en la fruta en general no fueron modificados por las distintas dosis de Ca al suelo, con excepción del porcentaje de Ca total a salida de almacenamiento refrigerado, donde el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ aumento la concentración de este mineral en las cerezas. Por otra parte, la dosis de 40 kg ha⁻¹ no influenció el porcentaje de Ca total, esto podría ser explicado por el funcionamiento del proceso de absorción y transporte de minerales en las raíces, ya que cuando existen altas concentraciones de un mineral en la solución externa, los iones se unen a transportadores intermembrana de baja afinidad. Cuando estos transportadores se saturan, la velocidad de absorción tiende a ser lineal, pero a muy baja pendiente (White, 2012), y por lo tanto la absorción de iones tiende a estabilizarse. En relación con esto, un estudio en manzana ‘Fuji’ reveló que la utilización de distintas fuentes de Ca al suelo no afectó el contenido de K y Mg en los frutos, ni el de Ca en la primera temporada, pero en la segunda temporada si se observaron diferencias en el contenido de Ca de los frutos, siendo los tratamientos en base a yeso y a lodos de pasta de papel los que presentaron los contenidos más altos (Danner *et al.*, 2015). Está información en conjunto con los resultados del presente estudio, nos permiten deducir que efectivamente aplicaciones de Ca al suelo tienen un efecto en la concentración de Ca en la fruta, pero, no necesariamente en la concentración de otros minerales.

La firmeza de los frutos es un atributo altamente valorado por la industria y se dedican grandes esfuerzos para mantenerla a lo largo de la cadena de frío, debido a que el ablandamiento es responsable del 60% de las diferencias de precio en cerezas (Hampson *et al.*, 2014). Las características de la pared celular, tales como la rigidez o relajación dependen en gran medida del grado de metil esterificación de las pectinas (Salazar y Gamboa, 2013). Los resultados de esta investigación indican que la aplicación parcializada de 20 kg ha⁻¹ de Ca al suelo en plena flor y 16 DDPF en comparación con el testigo y los otros dos tratamientos aumentaron la dureza de los frutos a cosecha y después de almacenamiento refrigerado. Por otra parte, los resultados obtenidos indican que probablemente el aporte de 10 kg ha⁻¹ de Ca no fue suficiente para lograr un líquido xilemático enriquecido en Ca, mientras que la dosis más alta (40 kg ha⁻¹) podría haber sido excesiva, y este exceso de Ca haberse acumulado en la vacuola (como Ca soluble o como cristales de oxalato de Ca) o en el retículo endoplasmático de las células (Hawkesford *et al.*, 2012), sin embargo, de ser así el análisis de Ca total lo hubiese reflejado, por lo cual, la

hipótesis de que a partir de los 20 kg ha⁻¹ de Ca la planta no absorbió más Ca debido a la saturación de los transportadores de baja afinidad (White, 2012) es más probable.

Actualmente no existen investigaciones que estudien la aplicación de dosis crecientes de Ca y sus efectos, sin embargo, existen algunos reportes sobre aplicaciones de una o más fuentes de Ca al suelo en especies como arándano (Angeletti *et al.*, 2010), manzana (Danner *et al.*, 2015) y tomate (Eboibi *et al.*, 2021) donde las aplicaciones efectivamente aumentaron la dureza de los frutos e incluso influenciaron otras variables. En el presente estudio es posible especular que esta diferencia en la dureza de los frutos tratados con la dosis de 20 kg ha⁻¹ de Ca al suelo se deba al refuerzo de la pared celular mediante la formación de puentes iónicos entre el Ca y los grupos carboxilos libres de residuos de los ácidos galacturónicos presentes en las pectinas (Carpita and McCann, 2000). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el porcentaje de calcio en la pared celular de las cerezas. El hecho de no encontrar diferencias en esta variable podría estar relacionado con el tamaño muestral, ya que la cantidad de cerezas utilizadas para esta medición fue de 4 frutos por UO, por lo cual, puede ser que este número no sea lo suficientemente representativo para observar diferencias. También cabe la posibilidad de que la composición de la pared celular en los tejidos internos y externos del mesocarpio de la cereza sea diferente, como lo reflejó un estudio en uva de mesa donde se encontró una mayor concentración de calcio asociado a la pared celular y una mayor cantidad de HG desmetilesterificados en el tejido interno del mesocarpio de las bayas que presentaron una mayor dureza (Balic *et al.*, 2022). No obstante, en este estudio para el análisis de Ca asociado a la pared celular se utilizó todo el fruto con excepción del carozo, por lo tanto, si hubiera una diferencia en la estructura de los tejidos no sería posible identificarla.

En arándano, aplicaciones de Ca al suelo tuvieron un efecto positivo al reducir la tasa de ablandamiento de los frutos en postcosecha (Angeletti *et al.*, 2010). Uno de los factores que causan el ablandamiento de la fruta son las enzimas degradadoras de la pared celular. Entre ellas se encuentran la poligalacturonasa (PG), la pectinmetilesterasa (PME) y la beta galactosidasa (β -Gal), las cuales facilitan la solubilización de la pectina de la pared celular (Ranjabar *et al.*, 2018). El calcio al estabilizar la pared celular la protege de la degradación de las pectinas (White and Broadley, 2003) e incluso altas concentraciones de Ca inhiben la actividad de la PG (Wehr *et al.*, 2004). En base a esto, efectos similares podrían haber sido reportados en este estudio, sin embargo, esta variable no fue cuantificada en esta investigación, por lo cual, esto pone en evidencia la necesidad de evaluar en futuras investigaciones la tasa de ablandamiento de los frutos e incluso realizar análisis de pectinas y de la actividad de las enzimas que la degradan.

Uno de los aspectos de calidad más apreciado por los consumidores de cerezas es el tamaño de estas, siendo los frutos grandes (29-30 mm de diámetro) los que tienen una mayor aceptación (Turner *et al.*, 2008). En este estudio se observaron diferencias en el diámetro de los frutos, siendo el tratamiento de 20 kg ha⁻¹ el que presentó el menor tamaño en los tres momentos de evaluación, y coincidentemente fue también el tratamiento que obtuvo las cerezas con mayor dureza. En consideración a lo anterior, se podría hipotetizar que la aplicación de 20 kg ha⁻¹ incrementó el refuerzo de la pared celular, contribuyendo de esta manera a una mayor rigidez, y esta a su vez en una menor extensión celular y por ende en un menor diámetro de los frutos. Por otra parte, pudiese ser que las aplicaciones de Ca al

suelo hubieran provocado deficiencias en la absorción de K^+ debido a la competencia de estos cationes en los sitios de intercambio del suelo (Marschner and Rengel, 2012), y que esta deficiencia de K^+ hubiese influido en el tamaño de los frutos. Cabe destacar que uno de los roles más importantes del K^+ es su participación en la extensión celular, debido a que uno de los principales requisitos para que esta ocurra es la acumulación de solutos con el fin de aumentar el potencial osmótico interno necesario para la presión de turgencia en la vacuola (Hawkesford *et al.*, 2012).

Los tratamientos no influenciaron el color (L, C y Hue) y los sólidos solubles. La acidez por su parte disminuyó en todos los tratamientos desde la cosecha hasta la salida del almacenamiento refrigerado (Cuadro 13), comportamiento que ya ha sido reportado en otros cultivares de cerezas (Remón *et al.*, 2003; Serrano *et al.*, 2009) y que se debe a que los ácidos orgánicos que contiene la fruta son intermediarios en la respiración celular y participan en varias rutas metabólicas como la glucólisis, el ciclo de Krebs, entre otros. (Aubert *et al.*, 2014; Taiz and Zeiger, 2002). Cabe mencionar que a salida de simulación de anaquel se observa un mayor porcentaje en la acidez del tratamiento de 10 kg ha^{-1} en contraste con el testigo y el resto de los tratamientos, no obstante, al comparar el mismo tratamiento entre salida de frío y simulación de anaquel se observa que la acidez se mantuvo en este periodo para este tratamiento. La diferencia de tiempo entre ambas salidas es de solo 2 días, por lo cual, ese lapso puede no ser significativo para observar diferencias en el porcentaje de acidez entre esos momentos de evaluación.

Los pedicelos verdes y turgentes son un fuerte indicador visual de frescura en la cereza (Winkler *et al.*, 2019). En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en las respectivas categorías de pardeamiento de pedicelo (Cuadros 14 y 15), por lo tanto, no es posible relacionar en esta investigación esta alteración con el porcentaje de Ca en la fruta. Sin embargo, estudios que contemplan inmersiones o pulverizaciones de Ca en cerezas han documentado que estas aplicaciones si reducen el pardeamiento (Tsantili *et al.*, 2007; Wang and Long, 2015). Esta información es contrastante con los resultados de este ensayo, no obstante, es de importancia comprender que la principal causa de este deterioro es que el pedicelo es un tejido que tiende a deshidratarse rápidamente, ya sea por su propia transpiración o por la deshidratación osmótica del propio fruto (Knoche *et al.*, 2015). La pérdida de la integridad de la membrana asociada a la pérdida de agua conduce a la degradación de la clorofila y a la oxidación de diversos compuestos fenólicos por la actividad de la enzima polifenol oxidasa contribuyendo así al pardeamiento del pedicelo (Vámos and Haard, 1981; Smith and Whiting, 2011; Winkler *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales implementadas en esta investigación, es posible concluir lo siguiente:

La aplicación de 20 kg ha⁻¹ de Ca al suelo en plena flor y postcujaja aumenta la concentración de Ca total después de almacenamiento refrigerado y la dureza de cerezas 'Santina' a cosecha y salida de frío, pero disminuye el diámetro de los frutos.

Las aplicaciones de Ca al suelo en plena flor y postcujaja no modifican el porcentaje de Ca en la pared celular, ni variables asociadas a la calidad como el color, los sólidos solubles, la acidez y el pardeamiento del pedicelo.

Los resultados obtenidos indican que los tratamientos no modificaron significativamente la concentración de Ca en la pared celular, lo que sugiere la necesidad de aumentar el número de frutos evaluados por repetición e incluso analizar la composición de la pared celular de las partes internas y externas del mesocarpio por separado en futuras investigaciones.

LITERATURA CITADA

- Aubert, C., P. Bony, G. Chalot, P. Landry, and S. Lurol. 2014. Effects of storage temperature, storage duration, and subsequent ripening on the physicochemical characteristics, volatile compounds, and phytochemicals of western red nectarine (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(20): 4707-4724.
- Angeletti, P., H. Castagnasso, E. Miceli, L. Terminiello, A. Concellón, A. Chaves and A. R. Vicente. 2010. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology* 58 (2): 98-103.
- Balic, I., P. Olmedo, B. Zepeda, B. Rojas, T. Ejsmentewicz, M. Barros, D. Aguayo, A.A. Moreno, R. Pedreschi, C. Meneses and R. Campos Vargas. 2022. Metabolomic and biochemical analysis of mesocarp tissues from table grape berries with contrasting firmness reveals cell wall modifications associated to harvest and cold storage. *Food Chemistry* 389.
- Belge, B., L.F. Goulao, E. Comabella, J. Graell, and I. Lara. 2017. Refrigerated storage and calcium dips of ripe 'Celeste' sweet cherry fruit: combined effects on cell wall metabolism. *Scientia Horticulturae* 219: 182-190.
- Bonomelli, C., and R. Ruiz. 2010. EFFECTS OF FOLIAR AND SOIL CALCIUM APPLICATION ON YIELD AND QUALITY OF TABLE GRAPE CV. 'THOMPSON SEEDLESS'. *Journal of Plant Nutrition* 33(3): 299-314.
- Candan, A.P., M.D. Raffo, G. Calvo, and T. Gomila. 2014. Study of the main points of impact during cherry handling and factors affecting pitting sensitivity. *Acta Horticulturae* 1020: 137-141.
- Carpita N., and M. McCann. 2000. The Plant Cell Wall. P. 52-109. In: Buchanan, B., W. Gruissem, and R. Jones (eds.). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists.
- Clayton, M., W.V Biasi, I.T. Agar, S.M. Southwick, and E.J. Mitcham. 2003. Postharvest quality of 'Bing' cherries following preharvest treatment with hydrogen cyanamide, calcium ammonium nitrate, or gibberellic acid. *HortScience* 38: 407-411.
- Contador, L., M. Diaz, M. Millanao, E. Hernandez, P. Shinya, C. Saenz and R. Infante. 2016. A proposal for determining the flesh softening of peach and nectarine in postharvest through simplified targeted modeling. *Scientia Horticulturae* 209: 47-52.

Danner, M. A., S. Scariotto, I. Citadin, G. A. Penso and L. C. Cassol. 2015. Calcium sources applied to soil can replace leaf application in 'Fuji' apple tree. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45: 266-273.

De Freitas, S.T., K.A. Handa, Q. Wu, S. Park, and E.J. Mitcham. 2012. Role of pectin methylesterases in cellular calcium distribution and blossom-end rot development in tomato fruit. *The plant Journal* 71(5): 824-835.

Eboibi, O., O. I. Akpokodje, O. Nyorere, P. Oghenerukevwe and H. Uguru. 2021. Effect of pre-harvest applications of organic manure and calcium chloride on the storability of tomato fruits, *Annals of Agricultural Sciences* 66(2): 142-151.

Ejsmentewicz, T., I. Balic, D. Sanhueza, R. Barria, C. Meneses, A. Orellana, H. Prieto, B. G. Defilippi and R. Campos. 2015. Comparative study of two table grape varieties with contrasting texture during cold storage. *Molecules* 20: 3667-3680.

Goulas, V., I.S. Minas, P.M. Kourdoulas, A. Lazaridou, A.N. Molassiotis, I.P. Gerothanassis, and G.A. Manganaris. 2015. ¹H NMR Metabolic fingerprinting to probe temporal postharvest changes on qualitative attributes and phytochemical profile of sweet cherry. *Frontiers in Plant Science* 6: 959.

Hampson, C.R., K. Stanich, D.L. McKenzie, L. Herbert, R. Lu, J. Li, and M.A. Cliff. 2014. Determining the optimum firmness for sweet cherries using Just-About-Right sensory methodology. *Postharvest Biology and Technology* 91: 104-111.

Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. S. Møller and P. White. 2012. Functions of Macronutrients. p. 135-189. *In: Marschner, P. (ed.) Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd edition. Adelaide, Australia.

Hocking, B., S.D. Tyerman, R.A. Burton, and M. Gilliam. 2016. Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science* 7: 569.

iQonsulting. 2023. Anuario Cereza 2022-2023. iQonsulting, Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.iqonsulting.com/yb/#> (Consultado en abril de 2023).

Jáuregui, D., J. Reyes, J. Sepúlveda, J. Whitaker, and A. Moreno. 2003. Crystallochemical characterization of Ca oxalate crystals isolated from seed coats of *Pheaeolus vulgaris* and leaves of *Vitis vinifera*. *Journal of Plant Physiology* 160: 239-245.

Knoche, M., T.O. Athoo, A. Winkler and M. Brüggewirth. 2015. Postharvest osmotic dehydration of pedicels of sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 108: 86-90.

Long, L.E., and C. Kaiser. 2010. Sweet cherry rootstocks for the Pacific Northwest. Pacific Northwest Extensión Publishing 619.

Marschner, P and Z. Rengel. 2012. Nutrient Availability in Soils. p. 315-330. *In*: Marschner, P. (ed.) Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd edition. Adelaide, Australia.

Measham, P.F., A. Richardson, and A. Townsend. 2017. Calcium application and impacts on cherry fruit quality. *Acta Horticulturae* 1161: 375-381.

Mohnen D. 2008. Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology* 11(3): 266-277.

Molina, J., and J.I. Covarrubias. 2019. Influence of Nitrogen on Physiological Responses to Bicarbonate in a Grapevine Rootstock. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 19:305-312.

Moreno, M.A., R. Adrada, J. Aparicio and S. Betrán. 2001. Performance of ‘Sunburst’ sweet cherry grafted on different rootstocks. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76(2): 167-173.

ODEPA. 2023. Boletín de fruta, enero 2023. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-enero-2023> (Consultado en marzo de 2023).

Olmedo, P., B. Zepeda, B. Rojas, C. Silva-Sanzana, J. Delgado-Rioseco, K. Fernández, I. Balic, C. Arriagada, A.A. Moreno, B.G Defilippi, and R. Campos. 2021. Cell Wall Calcium and Hemicellulose Have a Role in the Fruit Firmness during Storage of Blueberry (*Vaccinium* spp.). *Plants* 10: 553.

Quiroz, I. 2017. Expectativas en el mercado asiático para las cerezas. Santiago, Chile: Redagícola. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/expectativas-mercado-asiatico-las-cerezas/> (Consultado en junio de 2021).

Ranjbar, S., M. Rahemi, and A. Ramezani. 2018. Comparison of nano-calcium and calcium chloride spray on postharvest quality and cell wall enzymes activity in apple cv. Red Delicious. *Scientia Horticulturae* 240: 57-64.

Remón S., M. E. Venturini, P. Lopez-Buesa and R. Oria. 2003. Burlat cherry quality after long range transport: optimisation of packaging conditions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4(4): 425-434.

Salazar, A. y A. Gamboa. 2013. Importancia de las pectinas en la dinámica de la pared celular durante el desarrollo vegetal. *Revista de educación bioquímica* 32(2): 67-75.

Saure, M. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae* 105: 65-89.

- Serrano, M., H. M. Diaz-Mula, P. J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero and D. Valero. 2009. Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(8): 3240-3246.
- Smith, E. D., and M. D. Whiting. 2011. The pedicel's role in postharvest weight loss of two sweet cherry cultivars. *Acta Horticulturae* 903: 935-939.
- Steinhorst, L., and Kudla. 2014. Signaling in cells and organisms — calcium holds the line. *Current Opinion in Plant Biology* 22: 14-21.
- Swietlik, D., and M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. *Horticultural Reviews* 6: 287-355.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Massachusetts.
- Turner, J., C. Seavert, A. Colonna and L.E. Long. 2008. Consumer sensory evaluation of sweet cherry cultivars in Oregon, USA. *Acta Horticulturae* 795: 781-786.
- Tsantili, E., D. Rouskas, M. V. Christopoulos, V. Stanidis, J. Akrivos and D. Papanikolaou. 2007. Effects of two pre-harvest calcium treatments on physiological and quality parameters in 'Vogue' cherries during storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82: 657-663.
- Waldron K.W., and C.B. Faulds. 2007. 1.05 - Cell Wall Polysaccharides: Composition and Structure. *Comprehensive Glycoscience* 1: 181-201.
- Vámos-Vigyázó, L., and N. F. Haard. 1981. Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 15(1): 49-127.
- Wang, Y., and L.E. Long. 2015. Physiological and biochemical changes relating to postharvest splitting of sweet cherries affected by calcium application in hydrocooling water. *Food Chemistry*. 181:241-247.
- Webster, A.D. 2005. The origin, distribution and genetic diversity of temperate tree fruits. p. 1-11. In: Tromp, J., A.D. Webster, and S.L. Wertheim (eds.) *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Wehr, J.B., N.W. Menzies and F.P.C. Blamey. (2004). Inhibition of cell-wall autolysis and pectin degradation by cations. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 485-492.
- White, P. J. 2001. The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany* 52(358): 891-899.
- White, P. J., and M. R. Broadley. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* 92: 487-511.

White, P. J. 2012. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short distance transport. p. 7-47. *In*: Marschner, P. (ed.) *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd edition. Adelaide, Australia.

Winkler, A., and M. Knoche. 2019. Calcium and the physiology of sweet cherries: A review. *Scientia Horticulturae* 245: 107-115.

Zoffoli, J.P., P. Toivonen, and Y. Wang. 2017. Postharvest biology and handling for fresh market. P. 460-484. *In*: Quero-García, J., A. Iezzoni, J. Puławska, and G. Lang (eds.) *Cherries: Botany, Production and Uses*. CAB International, Wallingford, UK.

APENDICE I

Apéndice 1. Escala subjetiva de pardeamiento de pedicelo elaborada por esta autora al momento de la evaluación en cerezas ‘Santina’ tratadas con distintas dosis de Ca, donde 1 = sin pardeamiento; 2 = leve; 3 = moderado y 4 = severo.