



# **UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE POSTGRADO**

## **EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO Y 2,4-DP SOBRE LA ACUMULACIÓN DE CALCIO EN NECTARINES VARIEDAD 'ANDESNECTRES'**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

**FRANCISCO JAVIER QUINTANILLA SILVA**

Directores de Tesis

JOSÉ IGNACIO COVARRUBIAS PEÑA  
THOMAS FICHET LAGOS

Profesores/as consejeros/as

MARCO GARRIDO SALINAS  
MARÍA CECILIA PEPI ARONOWSKY

SANTIAGO - CHILE  
2022

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO Y 2,4-DP SOBRE LA  
ACUMULACIÓN DE CALCIO EN NECTARINES VARIEDAD  
'ANDESNECTRES'**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

**FRANCISCO JAVIER QUINTANILLA SILVA**

Calificaciones

DIRECTORES DE TESIS

José Ignacio Covarrubias Peña Ingeniero Agrónomo, MS, Dr.	6,8
Thomas Fichet Lagos Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8

PROFESORES/AS CONSEJEROS/AS

Marco Garrido Salinas Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8
María Cecilia Peppi Aronowsky Ingeniero Agrónomo, MS, Ph.D.	6,3

Santiago, Chile  
2022

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

*A mis directores de tesis José Ignacio Covarrubias y Thomas Fichet por su constante apoyo durante todo el proceso de la elaboración de esta tesis.*

*A la Agrícola Santa Amelia Fundo La Torina por otorgar acceso a sus predios y permitir el desarrollo de este estudio.*

*Al Laboratorio CEPOC de la Universidad de Chile por su disposición y facilidades de ingreso a sus dependencias, para las evaluaciones y mediciones del ensayo.*

*“Que los años no sean excusa para volver a estudiar”*

*Francisco.*

## ÍNDICE

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
HIPÓTESIS .....	3
OBJETIVOS .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
MATERIALES Y MÉTODOS .....	4
Ubicación del estudio .....	4
Material vegetal .....	4
Tratamientos .....	4
Diseño Experimental .....	5
Manejo del experimento .....	5
Evaluaciones .....	6
Análisis estadístico .....	8
RESULTADOS .....	9
Carga frutal y tamaño de fruto .....	9
Caracterización de la calidad de la fruta .....	9
Diámetro ecuatorial de frutos .....	9
Firmeza de pulpa .....	10
Prueba de fuerza de compresión .....	10
Concentración sólidos solubles .....	11
Acidez titulable .....	11
Relación entre el contenido de sólidos solubles y acidez titulable .....	12
Pardeamiento interno de pulpa .....	12
Harinosidad .....	13
Deshidratación de frutos .....	14
Asociación entre las distintas variables evaluadas a madurez de consumo .....	15
Concentración de calcio en hojas y frutos .....	15
DISCUSIÓN .....	17
CONCLUSIONES .....	20
LITERATURA CITADA .....	21

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Tratamientos con calcio y 2,4-DP, dosis y momentos de aplicación en nectarines ‘Andesnectres’, Provincia de Cachapoal, región de O’Higgins.....	5
Cuadro 2. Carga frutal expresada en número de frutos por árbol, tamaño de frutos expresado como masa en gramos y producción expresada en kilogramos por árbol, en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar. ....	9
Cuadro 3. Diámetro ecuatorial de frutos de nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a cosecha. Valor expresado en milímetros (mm). ± error estándar. ....	10
Cuadro 4. Firmeza de pulpa ( $lb^{-f}$ ) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar.....	10
Cuadro 5. Prueba de fuerza máxima (N) de compresión en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar. ....	11
Cuadro 6. Concentración de sólidos solubles totales (%) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar. ....	11
Cuadro 7. Acidez titulable (%) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar.....	12
Cuadro 8. Relación entre el contenido de sólidos solubles y acidez en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar. ....	12
Cuadro 9. Concentraciones de calcio en hojas y frutos de nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar. ....	16

## Índice de figuras

Figura 1. Pardeamiento interno de la pulpa evaluado como promedio de incidencia en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP en dos fechas de evaluación. Letras mayúsculas distintas a salida de frío y letras minúsculas distintas a madurez de consumo, indican diferencia significativa entre tratamientos según prueba de comparación LSD Fisher ( $p$ -valor $<0,05$ ). Barras verticales indican error estándar. ....	13
Figura 2. Harinosidad expresada en promedio de incidencia en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a madurez de consumo (35 días a 0°C + 3 días a 22°C). Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos según prueba de comparación LSD Fisher ( $p$ -valor $<0,05$ ). Barras verticales indican error estándar.....	14
Figura 3. Análisis de componentes principales para las variables de concentración de Ca, masa, firmeza, fuerza máxima, %SS, acidez, %SS/acidez, pardeamiento interno de la pulpa, harinosidad, deshidratación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a madurez de consumo. ....	15

## **Índice de anexos**

Figura 1. Escala subjetiva de incidencia de pardeamiento interno de la pulpa elaborada por este autor al momento de la evaluación, mediante una segregación numérica en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP evaluados a salida de frío y en madurez de consumo. ....	25
Figura 2. Escala subjetiva de incidencia de harinosidad elaborada por este autor, mediante una segregación numérica en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP evaluados en madurez de consumo. ....	26

## **Índice de apéndice**

Cuadro 1. Valores de componentes principales obtenidos en cada una de las variables evaluadas en madurez de consumo, en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP. ....	27
Cuadro 2. Matriz de correlación de Pearson entre masa, fuerza máxima, firmeza, SS, acidez, SS/A, pardeamiento interno, harinosidad deshidratación, concentración de Ca en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados en madurez de consumo. ....	27

## RESUMEN

La variedad de nectarino ‘Andesnectres’ suele presentar una rápida pérdida de firmeza de la pulpa luego de ser cosechada. Según algunos autores, esta importante variable de calidad estaría influenciada por la concentración de Ca en el fruto, la que a su vez podría estar asociada a la presencia de auxinas. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de aplicaciones de calcio al suelo junto con la pulverización de 2,4-DP en la calidad en nectarines ‘Andesnectres’ a cosecha y en poscosecha. Se realizó un experimento seleccionando al azar 24 árboles de un huerto durante la temporada 2020-21. Los resultados indican que las aplicaciones de Ca + 2,4-DP aumentan la fuerza máxima de compresión y promueven una tendencia hacia una mayor firmeza. Por otra parte, las aplicaciones de Ca disminuyen la incidencia de pardeamiento a madurez de consumo, mientras que la harinosidad disminuye con las aplicaciones de Ca + 2,4-DP durante el mismo período en comparación con el testigo. Los datos sugieren que la sinergia entre Ca y un regulador de crecimiento auxínico como el 2,4-DP, tienden a incrementar la concentración de Ca en los frutos. Los efectos de la aplicación de Ca + 2,4-DP permiten mejorar la calidad de la fruta a madurez de consumo, favorecer una mayor fuerza máxima de compresión, una tendencia hacia una mayor firmeza y reducir la incidencia de harinosidad.

**Palabras claves:** calidad de fruta, firmeza, fitorregulador, poscosecha, *Prunus*.

## ABSTRACT

The nectarine cv. 'Andesnectres' usually shows a rapid flesh firmness loss after harvest. According to some authors, this important quality variable would be influenced by the concentration of Ca in the fruit, which in turn could be associated with the presence of auxins. The objective of this research was to determine the effect of calcium applications to the soil along with 2,4-DP spraying on the quality of 'Andesnectres' nectarines at harvest and post-harvest. An experiment was conducted by randomly selecting 24 trees from an orchard during the 2020-21 season. Results indicate that Ca + 2,4-DP applications increase maximum compressive strength and promote a tendency toward greater firmness. Moreover, Ca applications decrease the incidence of browning at ripe stage, while mealiness decreases with Ca + 2,4-DP applications during the same period compared to the control. The data suggest that the synergy between Ca and an auxin growth regulator such as 2,4-DP tends to increase fruit Ca concentration. The effects of the application of Ca + 2,4-DP improve fruit quality at ripe stage, favor a higher maximum compressive strength and a tendency towards greater firmness and reduce the incidence of mealiness.

**Keywords:** firmness, fruits quality, plant growth regulator, postharvest, *Prunus*.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, Chile cuenta con 5.300 ha de nectarines distribuidas entre las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, siendo esta última la de mayor superficie cultivada con esta especie (Odepa, 2020). Además, en los últimos años se ha promovido a nivel nacional el recambio varietal a través del programa Australis Breeding, mediante el cual se desarrolló la variedad 'Andesnectres'. A pesar de que esta variedad ha sido exitosa en su superficie plantada en Chile, se han presentado problemas en la calidad de su fruta asociados a la pérdida de firmeza de la pulpa luego de ser cosechada. La calidad de la fruta está determinada por múltiples factores tales como la luz, relaciones fitohormonales, la nutrición mineral entre otras, en donde el calcio (Ca) se destaca como el elemento más importante (Bai *et al.*, 2021).

El Ca ha sido clasificado como un macroelemento esencial para las plantas, ya que, entre otras funciones, otorga estabilidad y rigidez a la pared celular al ser componente de los pectatos que conforman la lamela media, los cuales "cementan" células vecinas (White y BROADLEY, 2003). También, el Ca ha sido documentado por varios autores como un mineral que confiere otras propiedades relacionadas con la calidad de la fruta tales como firmeza, menor susceptibilidad al daño por frío y menor incidencia de pudriciones (Saure, 2005; Lurie y Crisosto 2005; Ponce *et al.*, 2010; Hepler y Winship, 2010; CICCARESE *et al.*, 2013). Otros autores señalan que bajas concentraciones de Ca podrían generar alteraciones fisiológicas en la fruta como es el caso del bitter pit en las manzanas (De Freitas y Mitcham, 2012; De Freitas *et al.*, 2015). Además, Ponce *et al.* (2010), indican que la acumulación de Ca evita la desintegración de la pared celular ocasionada por la solubilización de las pectinas, la que genera una pérdida en la turgencia celular, ablandamiento y cambios en la textura de la fruta. Así, el Ca ha sido identificado por décadas como un mineral que se relaciona directamente con atributos de la calidad de la fruta.

La absorción de los nutrientes ocurre principalmente en la zona apical de las raíces, que comprende tanto células en desarrollo como desarrolladas (White, 2001). Una vez que el Ca ingresa al tejido radical, al menos un 50% de este ion se posiciona en los pectatos de Ca que componen las paredes celulares. Por otra parte, la pequeña fracción de Ca que ingresa a la célula se acumula principalmente en la vacuola y en el retículo endoplasmático, mientras que en el citoplasma la concentración de Ca libre es muy baja (White y BROADLEY, 2003). Una de las causas de esta baja concentración se debe a la facilidad que tiene el Ca para formar sales insolubles con sulfatos y fosfatos (Maathuis, 2009), lo que no es deseable desde un punto de vista fisiológico. Asimismo, el movimiento radial de Ca desde las raíces hasta los vasos del xilema es a través del espacio intercelular (apoplástico), y una vez que este ion llega a la banda de Caspary, ingresa al simplasto celular a través de canales permeables al Ca. Posteriormente, una vez que el Ca atraviesa la Banda de Caspary, este vuelve a salir hacia el apoplasto mediante bombas de protones o ATPasas presentes en la membrana plasmática hasta que el Ca es cargado a los vasos que componen el xilema mediante un gradiente favorable en el potencial electroquímico (White, 2001; White y BROADLEY, 2003).

Una vez en los vasos del xilema, el Ca es transportado hacia la parte aérea mediante un flujo de masas cuya fuerza motriz es la transpiración. De esta manera, este ion se acumula

principalmente en los órganos de mayor transpiración como son las hojas, y luego en los de baja transpiración como son los frutos (White y BROADLEY, 2003). Consecuentemente, el movimiento del Ca hacia los frutos depende directamente de la tasa transpiratoria de los mismos, la cual va disminuyendo conforme avanza la maduración (Montanaro *et al.*, 2014; Montanaro *et al.*, 2015; Hocking *et al.*, 2016; Yamane *et al.*, 2020). En efecto, en especies como el damasco se demostró que los frutos jóvenes contienen una mayor concentración de Ca total, siendo la transpiración la que favorece la nutrición de los frutos con Ca (Montanaro *et al.*, 2010).

Los mecanismos de ingreso de Ca hacia los frutos se han demostrado en diversas investigaciones. En frutos de kiwi, el mayor contenido de Ca proviene de la acumulación realizada en la fase inicial de la curva de crecimiento del fruto y a medida que aumenta el tamaño, la concentración de Ca decrece por un efecto de dilución (Montanaro *et al.*, 2014). De igual forma, en frutos de damasco se demostró que la mayor acumulación de Ca se produce durante las primeras cuatro semanas posteriores a la etapa de floración. Por lo tanto, una mayor disponibilidad de Ca en el suelo en etapas tempranas de desarrollo de los frutos, podría ser una estrategia de manejo eficiente para incrementar la acumulación de Ca en la fruta a la cosecha (Montanaro *et al.*, 2010).

Existen algunos estudios que relacionan el movimiento y la distribución del Ca con las auxinas, señalando que la fitohormona producida en la semilla es necesaria para el ingreso de Ca al fruto (Banuelos *et al.*; 1987; Brown y Ho 1993). En frutos de tomate tratados con inhibidores del transporte de auxinas como el ácido 2,3,5 triidobenzoico (TIBA) y el clorofluorenol metiléster (CME), se observó una inhibición en el transporte basipetalo de las auxinas y a su vez disminuyó el movimiento del Ca hacia los frutos recién cuajados, provocando una mayor susceptibilidad a desordenes fisiológicos como la pudrición apical de los frutos asociada a una deficiencia de Ca (Banuelos *et al.*; 1987; Brown y Ho 1993). Además, esta pudrición apical estaría ocasionada por un mayor crecimiento celular en los primeros estados de desarrollo y una menor tasa de transporte de Ca dentro del fruto (Ho *et al.*, 1993), o bien por una disrupción de los vasos del xilema (Brown y Ho 1993).

Por otra parte, el movimiento de Ca en frutos de palto se vio afectado en respuesta a la presencia del inhibidor del transporte de auxina en el fruto (TIBA), determinando que la exportación de IAA y la acumulación de Ca fue mayor en brotes vegetativos en comparación a las panículas y frutos cuajados (Cutting y Bower, 1989), lo que indica que el Ca se mueve hacia las zonas que exportan auxinas. Otros investigadores han señalado que aplicaciones de ácido naftalenacético y cloruro de calcio sobre frutos de tomate, promueven una mayor acumulación de Ca asociado a un aumento en la firmeza de los frutos (Abbassi *et al.*, 2013). Por otro lado, un estudio conducido en kiwi indica que la exposición de los frutos a la luz directa durante las primeras semanas de desarrollo, promueven un aumento en la concentración de ácidos hidroxicinámicos, los que podrían evitar la degradación de las auxinas aumentando la acumulación de Ca (Montanaro *et al.*, 2007).

En la presente investigación, se postula que la aplicación de Ca al suelo, junto a la aplicación de una auxina de síntesis como es el 2,4-DP, aumenta el transporte y la acumulación de Ca en los frutos, otorgándoles una mayor firmeza a la cosecha y en postcosecha.

## **HIPÓTESIS**

Aplicaciones tempranas de calcio al suelo y de 2,4-DP a frutos cuajados de nectarines incrementan la acumulación de calcio en el fruto y mejoran la calidad de la fruta a cosecha y en postcosecha.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar el efecto de aplicaciones de calcio al suelo junto con la pulverización de 2,4-DP en la calidad en nectarines ‘Andesnectres’ a cosecha y en postcosecha.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar el efecto de las aplicaciones de calcio y 2,4-DP sobre la acumulación de calcio en el fruto.
2. Evaluar el efecto de las aplicaciones de calcio y 2,4-DP en la calidad de nectarines ‘Andesnectres’ a cosecha y en almacenaje refrigerado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la localidad de Pichidegua, Provincia de Cachapoal, región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Fundo La Torina (34°35' S -71°29' W), perteneciente a la empresa Agrícola Santa Amelia Limitada. Los análisis de laboratorio se efectuaron en Laboratorio Agrícola Agrolab, y en el Centro de Estudios de Postcosecha del Departamento de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

### Material vegetal

Para el experimento, se utilizaron 24 árboles adultos de nectarino (*Prunus persica*) variedad Andesnectres, injertados sobre patrón Nemaguard. El huerto fue plantado durante el año 2016 bajo un sistema de conducción en copa, con un marco de plantación 4,5 x 2,5 m. Los árboles están bajo riego tecnificado, provisto de una doble línea con goteros distanciados cada 50 cm y con un caudal de 2 L h<sup>-1</sup> cada uno.

El cuartel en donde se estableció el experimento cuenta con un suelo de pH neutro, con una conductividad eléctrica de 0,24 dS m<sup>-1</sup> y un 2,2% de materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 8,8 meq 100 g<sup>-1</sup>, y las saturaciones de las bases de intercambio se encontraban en 91% de Ca, 22% de Mg, 1,5% de K y 0,91% de Na. Si bien tanto el Ca como el Mg se encontraban con valores superiores al rango crítico, ambos elementos estarían con baja disponibilidad debido a una CIC muy baja producto del material parental, mientras que K se encontraba en una condición deficitaria.

### Tratamientos

En el estudio se establecieron los siguientes tratamientos: (1) árboles sin aplicación de Ca y 2,4-DP (control); (2) árboles con aplicaciones de Ca al suelo en dos momentos (inicio de floración y cuaja); (3) árboles con aplicaciones foliares de 75 mg L<sup>-1</sup> 2,4-DP en etapa de 80% de caída pétalos y; (4) árboles con aplicaciones de Ca más aplicaciones foliares de 75 mg L<sup>-1</sup> 2,4-DP (Cuadro 1). El Ca fue aplicado en forma localizada bajo los emisores, al mismo tiempo que se efectuó un riego de 2 horas. La aplicación del regulador de crecimiento auxínico se realizó mediante una bomba de espalda manual de 15 L, asperjando cada árbol con un cubrimiento total. Para el caso de Ca se utilizó el producto comercial Calcio-sprint (CaO) 7,0% p/p y para el regulador de crecimiento auxínico se utilizó 2,4-DP cuyo producto comercial es Stone-Gross, (2,4-DP al 3,7% p/v), más humectante Break<sup>®</sup> (1 mL 10 L<sup>-1</sup>).

Cuadro 1. Tratamientos con calcio y 2,4-DP, dosis y momentos de aplicación en nectarines ‘Andesnectres’, Provincia de Cachapoal, región de O’Higgins.

Tratamiento	Producto	Dosis de aplicación		Momento de aplicación
		Ca	2,4-DP	
T1	Sin producto	0	0	-
T2	Ca	11,25 g árbol <sup>-1</sup>	0	Inicio flor y cuaja
T3	2,4-DP	0	75 mg L <sup>-1</sup>	80% caída pétalos
T4	Ca + 2,4-DP	11,25 g árbol <sup>-1</sup>	75 mg L <sup>-1</sup>	Ca en inicio flor y cuaja. 2,4-DP en 80% caída pétalos

### Diseño Experimental

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, con seis repeticiones para cada tratamiento. Cada bloque correspondió a una hilera, y cada unidad experimental estaba compuesta por tres árboles, siendo la planta central la unidad de observación.

### Manejo del experimento

Los árboles fueron podados durante el mes de junio del año 2020 según el criterio del campo y en función de la carga estimada. Posterior a dicha labor, se seleccionaron árboles sanos y de similar vigor para el experimento. El manejo de la carga frutal se definió en función de la cuaja, que es una limitante en esta variedad, y por lo tanto fue fundamental para regular la cantidad y distribución de frutos por ramilla mediante un raleo manual efectuado el día 28 de octubre del año 2020. Luego de dicha práctica, la carga fue verificada mediante conteos, procurando mantener entre 200 a 220 frutos por árbol en las unidades experimentales.

En cuanto a los manejos agronómicos, los árboles recibieron el programa de fertilización del predio, con la excepción de la fertilización cálcica. Para ello se colocaron llaves de paso en cada hilera para evitar aplicaciones de fertilizantes en base a calcio. Para el caso de la aplicación de 2,4-DP, sólo fueron tratados los árboles de las unidades experimentales pertenecientes a dicho el tratamiento. El riego fue definido por el campo en términos de frecuencia y tiempo, según la ET<sub>0</sub> y la observación de calicatas. El control de malezas fue a través de herbicidas residuales durante el invierno, y luego con aplicaciones de herbicidas sistémicos y de contacto en la sobre hilera, mientras que en las entre hileras se realizó control mecánico.

La cosecha se realizó entre la semana 4 y 5 del año 2021 cuando los frutos alcanzaron un color de cubrimiento entre un 95 y 100%, un color de fondo verde amarillo y una firmeza

entre 14 - 17 lb<sup>f</sup>. Para la muestra analizada se descartó la fruta con carozo partido visible en la zona peduncular.

El huerto de nectarines 'Andesnectres' tiene una superficie de 3,1 ha y su producción durante la temporada 2020-21 fue de 30.690 kg ha<sup>-1</sup>. De acuerdo con la densidad de 889 árboles por ha, la producción por árbol, en promedio, estuvo alrededor de los 34,5 kg y con una masa promedio de fruta de 164 g.

## Evaluaciones

Se recolectaron 30 frutos por repetición los cuales fueron evaluados en grupos de 10 unidades durante tres períodos; a cosecha, salida de frío (35 días a 0°C) y a madurez de consumo después de salida de frío más 3 días a 22°C (Cano-Salazar *et al.*, 2013). La fruta de cada unidad experimental se marcó con un rotulador de tinta indeleble para su seguimiento y luego se almacenó en cajas de cartón con bandejas plásticas y bolsa perforada al 2%. Estas cajas fueron cerradas y refrigeradas a una temperatura de 0°C.

**Masa de frutos:** se pesaron todos los frutos, incluido el carozo partido, en forma individual de cada unidad de observación, y el valor fue expresado en gramos. La sumatoria de todos los pesos individuales generaron la producción expresada como kilogramos por planta.

**Deshidratación:** se determinó el peso inicial y el peso final de cada fruto en los períodos de salida de frío y madurez de consumo, expresando el valor en g. La pérdida de peso se calculó mediante la resta entre el peso final menos el peso inicial de cada fruta, y luego se determinó el porcentaje de deshidratación de los frutos.

**Diámetro de la fruta:** se midió el diámetro ecuatorial de cada fruto que compone la muestra a cosecha, con un pie de metro digital (Bull Tools, Ubermann), cuyo valor fue expresado en milímetros.

**Firmeza de pulpa:** esta variable fue medida en ambas mejillas del fruto, removiendo previamente la epidermis mediante un pelador de frutas. Se utilizó un penetrómetro manual modelo FT 011 (Effegi, Milán, Italia) con un émbolo de 7,9 mm de diámetro, adosado a un pedestal metálico. Ambas mediciones fueron promediadas y expresadas en lb<sup>f</sup>. Esta prueba fue realizada en los tres períodos de evaluación.

**Prueba de fuerza máxima:** los frutos fueron sometidos a pruebas de fuerza máxima de compresión uniaxial. Las mediciones fueron realizadas en la zona ecuatorial de los frutos utilizando el analizador de textura TA.XT Express (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), mediante un plato de compresión SMS P/75 que deforma el fruto. El recorrido del plato fue de 1 mm de profundidad al momento de entrar en contacto con la piel a una velocidad de 5 mm s<sup>-1</sup> (Contador *et al.*, 2015; Contador *et al.*, 2016). Cada medición de fuerza máxima de compresión fue expresada en newton (N). Esta prueba fue realizada durante los tres períodos de evaluación.

**Sólidos solubles y acidez:** previo a la medición de estas variables, dos gajos fueron extraídos desde la zona peduncular hasta la fracción distal de cada uno de los 10 frutos que componen la muestra compuesta. Luego, los gajos fueron triturados mediante una licuadora y colocados en tubos falcón de 50 mL. Posteriormente se pasaron por una centrifuga con rotor 6 (50 mLx6) a una velocidad de 950 rpm durante 10 minutos y con una temperatura de 15°C. Transcurrido el tiempo, se separó la fase líquida de la sólida, se extrajo una muestra de líquido con una micropipeta y se colocó en un vaso precipitado de 200 mL. Este procedimiento fue realizado en los tres períodos de evaluación para cada muestra.

**Sólidos solubles (%):** se determinó el contenido de sólidos solubles al jugo de la pulpa de los nectarines mediante un refractómetro termocompensado (Atago, modelo Master-T2312, Tokio Japón). Los valores se expresaron en porcentaje.

**Acidez titulable (%):** se determinó mediante la titulación de 5 mL de jugo más 150 mL de agua destilada con NaOH 0,1 N hasta la neutralización de los ácidos orgánicos a pH 8,3. Este valor fue determinado con un medidor de pH Multiparámetro edge® (modelo HI2020). Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico, de acuerdo con la siguiente fórmula:

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

V: volumen de NaOH utilizado (mL)

C: concentración de NaOH (N)

M: cantidad de muestra (mL)

F: factor de ácido málico = 0,067

**Relación sólidos solubles/acidez:** se calculó mediante el cociente entre sólidos solubles (%) y ácido málico (%) determinado en los tres períodos de evaluación.

**Pardeamiento interno de la pulpa:** se determinó mediante una evaluación visual señalando la incidencia según escala en (1) ausente, (2) leve, (3) moderado y (4) severo. El valor fue expresado como promedio de incidencia del daño. Esta evaluación se realizó a salida de frío y en madurez de consumo.

**Harinosidad:** se determinó mediante una evaluación visual señalando la incidencia según escala en (1) ausente, (2) leve, (3) moderado y (4) severo. El valor fue expresado como promedio de incidencia del daño. Evaluación realizada en madurez de consumo.

**Determinación de Ca total:** la determinación de Ca en la fruta se realizó en el Laboratorio Agrícola Agrolab ubicado en José Domingo Cañas 2918 comuna de Ñuñoa, mediante la metodología de espectrofotometría de absorción atómica. El análisis de tejido fue realizado en fruto fresco y su valor expresado en mg/100g peso fresco.

**Contenido de Ca en hojas:** se recolectaron 50 hojas al azar en cada repetición. La determinación de Ca en tejidos vegetales de hoja se realizó se en el Laboratorio Agrícola Agrolab ubicado en José Domingo Cañas 2918 comuna de Ñuñoa, mediante la metodología de espectrofotometría de absorción atómica. Su valor fue expresado como porcentaje de Ca.

### **Análisis estadístico**

Cada una de las variables de calidad de la fruta en los tres períodos de evaluación, fueron analizadas mediante modelos lineales generalizados mixtos y pruebas de comparaciones múltiples de LSD-Fisher, previa verificación de los supuestos de independencia, homogeneidad de varianza y normalidad de los errores. El nivel de significancia utilizado fue 0,05.

Para el tamaño de frutos a cosecha y producción por planta se utilizó la carga frutal como covariable en los modelos lineales generalizados y mixtos.

Para las variables evaluadas a madurez de consumo, se realizó un Análisis Multivariado de Componentes Principales, el cual permite ver el grado de correlación entre las variables y los tratamientos mediante un gráfico Biplot.

Para todos los análisis se utilizó el software estadístico Infostat<sup>®</sup> versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

## RESULTADOS

### Carga frutal y tamaño de fruto

Para analizar las variables de tamaño de frutos a cosecha y producción por planta se consideró la carga frutal como covariable, la cual no fue significativa para el tamaño de frutos. En contraste, dicha covariable si fue significativa para la producción (Cuadro 2). Los resultados obtenidos, indican que los tratamientos no modificaron la carga frutal. No obstante, tanto el tamaño de fruto como la producción se vieron afectados por la aplicación de los tratamientos. En tal contexto, la aplicación de 2,4-DP redujo el tamaño de los frutos y la producción en relación a los árboles tratados con Ca y al testigo, mientras que los frutos tratados con Ca + 2,4-DP mostraron valores intermedios (Cuadro 2).

Cuadro 2. Carga frutal expresada en número de frutos por árbol, tamaño de frutos expresado como masa en gramos y producción expresada en kilogramos por árbol, en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP.  $\pm$  error estándar.

Tratamientos	Carga frutal (frutos árbol <sup>-1</sup> )	Tamaño de fruto (g)	Producción (kg árbol <sup>-1</sup> )
Testigo	202 $\pm$ 14,2	163 $\pm$ 2,6 a	31,5 $\pm$ 0,5 a
Ca	182 $\pm$ 14,2	161 $\pm$ 2,6 a	30,9 $\pm$ 0,4 a
2,4-DP	193 $\pm$ 4,7	154 $\pm$ 2,7 b	29,6 $\pm$ 0,5 b
Ca + 2,4-DP	189 $\pm$ 15,5	159 $\pm$ 2,7 ab	30,7 $\pm$ 0,5 ab
p-value	0,783	0,058	0,031
Covariable carga frutal		0,685	<0,0001

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos, según prueba de comparación LSD Fisher (p-valor<0,05).

### Caracterización de la calidad de la fruta

#### Diámetro ecuatorial de frutos

El diámetro ecuatorial de los frutos al momento de la cosecha no se vio afectado por la aplicación de los tratamientos. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Diámetro ecuatorial de frutos de nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a cosecha. Valor expresado en milímetros (mm).  $\pm$  error estándar.

Tratamientos	Diámetro ecuatorial mm
Testigo	66,9 $\pm$ 0,5
Ca	66,6 $\pm$ 0,5
2,4-DP	65,8 $\pm$ 0,5
Ca + 2,4-DP	65,7 $\pm$ 0,5
p-value	0,244

### Firmeza de pulpa

El promedio de firmeza ( $\text{lb}^{-\text{f}}$ ) de la pulpa, medida en ambas mejillas al momento de la cosecha se vio afectada por los tratamientos. La aplicación de 2,4-DP redujo la firmeza de los frutos a cosecha en comparación con el testigo y Ca + 2,4-DP, mientras que el Ca mostró resultados intermedios entre dichos tratamientos (Cuadro 4). Sin embargo, tal efecto no se replica en las evaluaciones realizadas a salida de frío y luego en madurez de consumo, ya que el análisis de los datos no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 4). Es importante señalar que las medias indican una tendencia de mayor firmeza de pulpa en los tratamientos a base de Ca, cuya diferencia entre el testigo y los tratamientos Ca y Ca + 2,4-DP fue de 0,8 y 0,7  $\text{lb}^{-\text{f}}$  respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Firmeza de pulpa ( $\text{lb}^{-\text{f}}$ ) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP.  $\pm$  error estándar.

Tratamientos	Firmeza ( $\text{lb}^{-\text{f}}$ ) Cosecha	Firmeza ( $\text{lb}^{-\text{f}}$ ) Salida de frío 35 días a 0°C	Firmeza ( $\text{lb}^{-\text{f}}$ ) Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	16,8 $\pm$ 0,5 a	13,5 $\pm$ 0,3	7,7 $\pm$ 0,5
Ca	15,9 $\pm$ 0,2 ab	13,7 $\pm$ 0,3	8,4 $\pm$ 0,5
2,4-DP	15,7 $\pm$ 0,2 b	13,5 $\pm$ 0,3	7,8 $\pm$ 0,5
Ca + 2,4-DP	16,5 $\pm$ 0,3 a	14,1 $\pm$ 0,3	8,5 $\pm$ 0,5
p-valor	0,040	0,326	0,530

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamiento, según prueba de comparación LSD Fisher ( $p\text{-valor} < 0,05$ ).

### Prueba de fuerza de compresión

En la prueba de fuerza máxima (N) de compresión de frutos a cosecha, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5). Aun así, la fruta proveniente de árboles tratados con Ca mostró valores mayores en comparación con el resto de los tratamientos. Algo semejante ocurrió a salida de frío donde tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos, y en este caso la aplicación de 2,4-DP entregó un valor mayor en relación al resto de los tratamientos. Sin embargo, a madurez de consumo se registraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo la aplicación de Ca + 2,4-DP, la que presentó el valor más alto de fuerza máxima (N) respecto al resto de los tratamientos,

seguido del tratamiento con Ca, el cual se diferenci6 estadística mente con el anterior. Por su parte, el valor de los frutos aplicados con 2,4-DP fue significativamente menor con respecto a los tratamientos anteriores y similar al testigo, el cual present6 valores intermedios entre los tratamientos con Ca y 2,4-DP (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de fuerza máxima (N) de compresión en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar.

Tratamientos	Fuerza máxima (N)	Fuerza máxima (N)	Fuerza máxima (N)
	Cosecha	Salida de frío 35 días a 0°C	Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	23,13 ± 0,68	20,36 ± 0,97	6,25 ± 0,24 bc
Ca	23,45 ± 0,68	21,48 ± 0,97	6,72 ± 0,22 b
2,4-DP	22,53 ± 0,68	22,59 ± 0,97	6,09 ± 0,24 c
Ca + 2,4-DP	23,84 ± 0,65	21,12 ± 1,44	7,09 ± 0,10 a
p-valor	0,571	0,444	0,002

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamiento, según prueba de comparación LSD Fisher (p-valor < 0,05).

### Concentración sólidos solubles

Los valores de sólidos solubles al momento de la cosecha no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, en la evaluación a salida de frío, la aplicación de 2,4 DP disminuyó significativamente el porcentaje de sólidos solubles en comparación a los tratamientos testigo y Ca, mientras que los tratados con Ca + 2,4-DP resultaron con valores intermedios y sin diferencia significativa con el resto de los tratamientos. En madurez de consumo no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Concentración de sólidos solubles totales (%) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP. ± error estándar.

Tratamiento	Sólidos solubles (%)	Sólidos solubles (%)	Sólidos solubles (%)
	Cosecha	Salida de frío 35 días a 0°C	Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	13,9 ± 0,3	12,8 ± 0,2 a	13,0 ± 0,4
Ca	13,4 ± 0,5	13,0 ± 0,3 a	13,1 ± 0,1
2,4-DP	14,1 ± 0,3	12,3 ± 0,2 b	12,4 ± 0,4
Ca + 2,4-DP	13,5 ± 1,0	12,5 ± 0,3 ab	12,7 ± 0,4
p-valor	0,504	0,048	0,357

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamiento, según prueba de comparación LSD Fisher (p-valor < 0,05).

### Acidez titulable

El porcentaje de acidez del jugo no se vio afectado por los tratamientos en los tres períodos de evaluación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Acidez titulable (%) en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP.  $\pm$  error estándar.

Tratamiento	Acidez titulable (%) Cosecha	Acidez titulable (%) Salida de frío 35 días a 0°C	Acidez titulable (%) Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	1,2 $\pm$ 0,03	0,5 $\pm$ 0,02	0,5 $\pm$ 0,02
Ca	1,1 $\pm$ 0,04	0,5 $\pm$ 0,01	0,4 $\pm$ 0,02
2,4-DP	1,2 $\pm$ 0,04	0,5 $\pm$ 0,02	0,5 $\pm$ 0,04
Ca + 2,4-DP	1,1 $\pm$ 0,08	0,5 $\pm$ 0,01	0,4 $\pm$ 0,05
p-valor	0,320	0,463	0,116

### Relación entre el contenido de sólidos solubles y acidez titulable

A cosecha, la aplicación de 2,4-DP redujo la relación SS/A en forma significativa en relación con el tratamiento con Ca, mientras que los tratamientos testigo y Ca + 2,4-DP no se diferenciaron estadísticamente, generando valores intermedios entre los tratamientos. Tanto a salida de frío como a madurez de consumo no hubo diferencias significativas entre tratamientos para esta variable (Cuadro 8).

Cuadro 8. Relación entre el contenido de sólidos solubles y acidez en diferentes fechas de evaluación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP.  $\pm$  error estándar.

Tratamiento	SS/A Cosecha	SS/A Salida de frío 35 días a 0°C	SS/A Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	12,1 $\pm$ 0,3 ab	25,3 $\pm$ 1,3	27,9 $\pm$ 1,4
Ca	12,5 $\pm$ 0,2 a	23,9 $\pm$ 0,9	30,5 $\pm$ 1,4
2,4-DP	12,0 $\pm$ 0,2 b	23,7 $\pm$ 0,9	25,9 $\pm$ 3,2
Ca + 2,4-DP	12,1 $\pm$ 0,2 ab	23,3 $\pm$ 0,9	31,5 $\pm$ 3,2
p-valor	0,029	0,538	0,171

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamiento, según prueba de comparación LSD Fisher ( $p$ -valor < 0,05).

### Pardeamiento interno de pulpa

A salida de frío, el pardeamiento interno de pulpa, evaluado mediante una escala de severidad (ver Anexo I), presentó diferencias significativas entre tratamientos. Tanto la aplicación con Ca, como con 2,4-DP redujeron la incidencia de pardeamiento en relación con el testigo, mientras que la aplicación de Ca + 2,4-DP presentó un promedio de incidencia intermedia. Algo similar ocurrió en madurez de consumo donde la aplicación de Ca redujo el pardeamiento interno con respecto al testigo y las aplicaciones de 2,4-DP y Ca + 2,4-DP generaron niveles de incidencia intermedios (Figura 1).

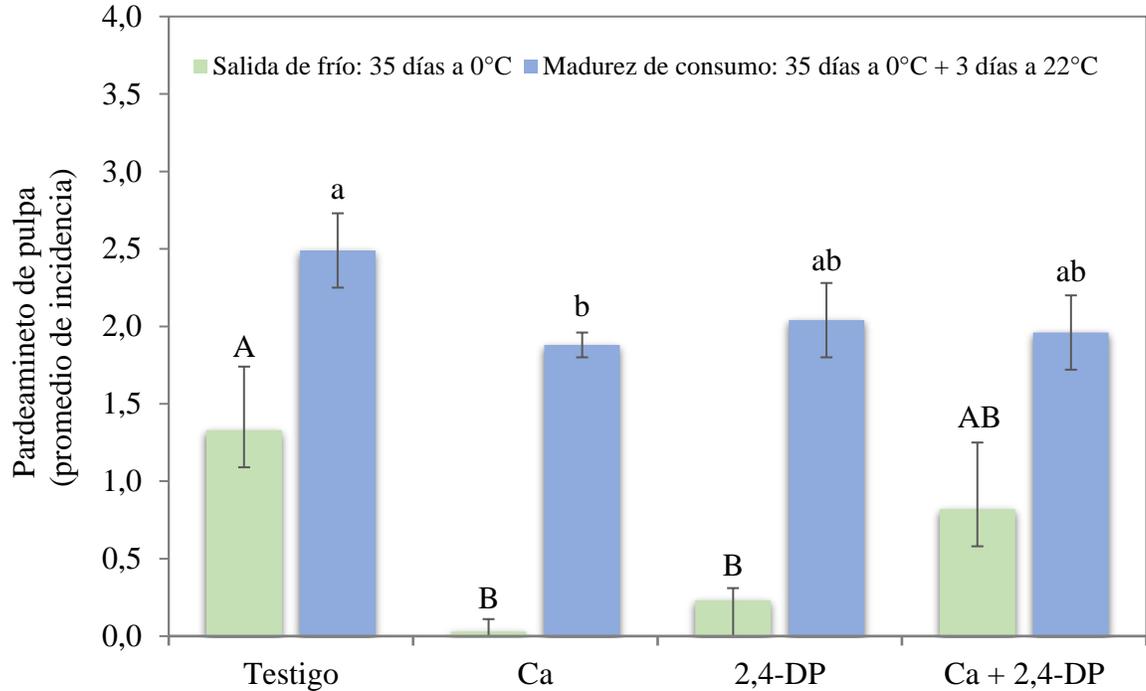


Figura 1. Pardeamiento interno de la pulpa evaluado como promedio de incidencia en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP en dos fechas de evaluación. Letras mayúsculas distintas a salida de frío y letras minúsculas distintas a madurez de consumo, indican diferencia significativa entre tratamientos según prueba de comparación LSD Fisher ( $p$ -valor $<0,05$ ). Barras verticales indican error estándar.

### Harinosidad

La harinosidad evaluada como promedio de incidencia según la escala de severidad utilizada (Anexo II), los frutos no presentaron síntomas visibles de harinosidad a salida de frío, siendo clasificados en promedio como ausente (Anexo II). Sin embargo, la evaluación realizada en madurez de consumo presentó diferencias significativas entre tratamientos. Las aplicaciones de Ca + 2,4-DP redujeron la harinosidad en comparación con los frutos testigo y los nectarines tratados con Ca. Asimismo, la aplicación sólo de Ca redujo la harinosidad en relación al testigo, mientras que el tratamiento 2,4-DP presentó valores de incidencia intermedios entre los dos tratamientos a base de Ca (Figura 2).

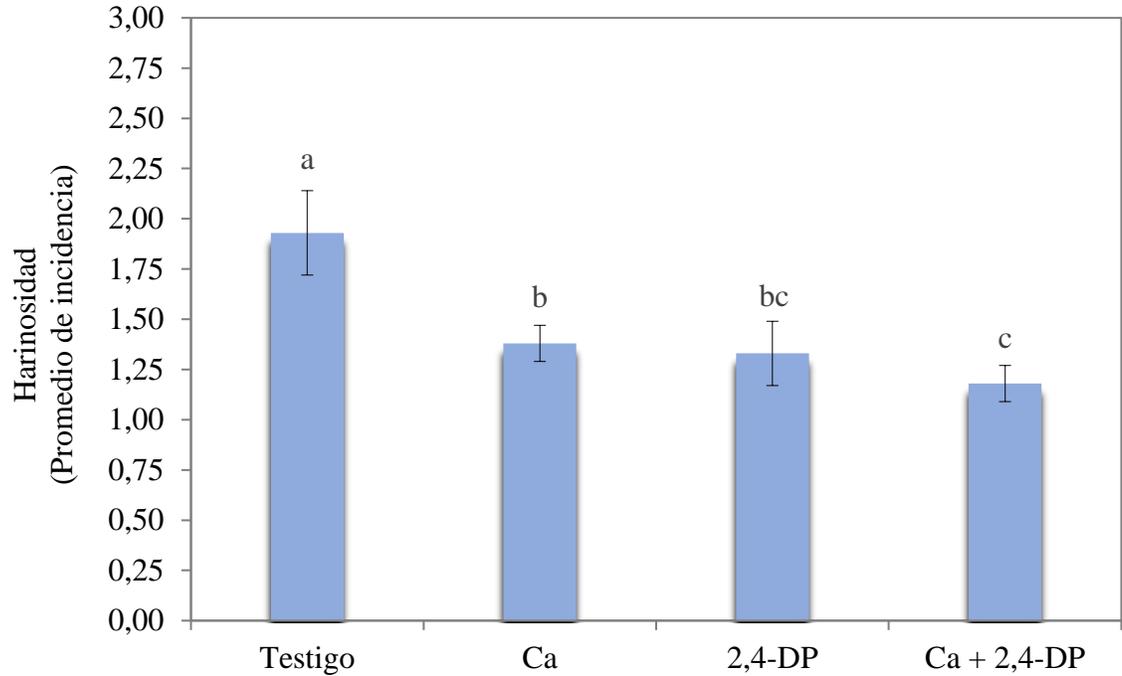


Figura 2. Harinosidad expresada en promedio de incidencia en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a madurez de consumo (35 días a 0°C + 3 días a 22°C). Letras distintas indican diferencia significativa entre tratamientos según prueba de comparación LSD Fisher ( $p$ -valor<0,05). Barras verticales indican error estándar.

### Deshidratación de frutos

El porcentaje de deshidratación de los frutos, en los períodos de salida de frío y madurez de consumo no fue influenciado por los tratamientos. No obstante, los frutos testigos mostraron una tendencia conducente a una mayor deshidratación a madurez de consumo en relación al resto de los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 9. Porcentaje de deshidratación de los frutos en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP durante dos fechas de evaluación.  $\pm$  error estándar.

Tratamiento	Deshidratación (%)	
	Salida de frío 35 días a 0°C	Madurez de consumo 35 días a 0°C + 3 días a 22°C
Testigo	0,9 $\pm$ 0,2	4,7 $\pm$ 0,2
Ca	0,9 $\pm$ 0,2	4,2 $\pm$ 0,2
2,4-DP	0,9 $\pm$ 0,2	4,3 $\pm$ 0,5
Ca + 2,4-DP	1,0 $\pm$ 0,1	4,4 $\pm$ 0,5
p-valor	0,813	0,357

### Asociación entre las distintas variables evaluadas a madurez de consumo

Para analizar la asociación entre las distintas variables y los tratamientos en la evaluación de madurez de consumo, se utilizó el análisis de componente principales (ACP) como se muestra en la Figura 3. La CP1 explica el 57,3 % de la variabilidad de los datos debido principalmente a fuerza máxima, firmeza, %SS/acidez y Ca (mg/kg), mientras que la CP2 explicaría el 29,5% en donde las variables masa, harinosidad y sólidos solubles son las de mayor importancia (Apéndice I, Cuadro 1). La fuerza máxima, firmeza y %SS/acidez están orientados hacia la derecha del Biplot al igual que los tratamientos Ca y Ca + 2,4-DP, en contraste a lo que muestran las variables de pardeamiento interno de la pulpa y harinosidad. La fuerza máxima (N) se correlacionó positiva y significativamente con la firmeza (lb<sup>-f</sup>). De la misma forma que la fuerza máxima con %SS/acidez. Al mismo tiempo, la acidez se correlacionó en forma negativa y significativa con %SS/acidez. Para resto de las variables no se verificó una correlación según la matriz de correlación de Pearson (Apéndice I, Cuadro 2). Por otra parte, los tratamientos testigo y 2,4-DP se encuentran hacia la izquierda del Biplot, asociados con una menor fuerza máxima y firmeza principalmente.

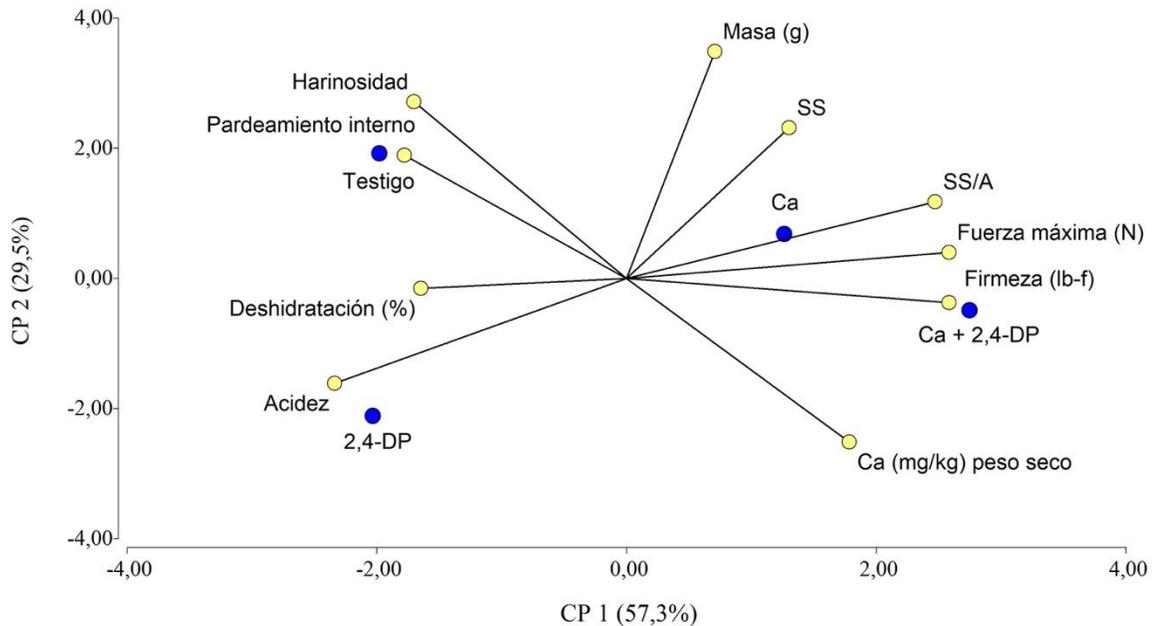


Figura 3. Análisis de componentes principales para las variables de concentración de Ca, masa, firmeza, fuerza máxima, %SS, acidez, %SS/acidez, pardeamiento interno de la pulpa, harinosidad, deshidratación en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados a madurez de consumo.

### Concentración de calcio en hojas y frutos

Los resultados obtenidos no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos para la concentración de Ca en hojas, cuyas muestras fueron recolectadas durante la postcosecha (Cuadro 9). Lo mismo ocurrió con la concentración de Ca de los frutos, expresada en

mg/100g de peso fresco, mientras que para la concentración de Ca en base a peso seco se observa una tendencia hacia un mayor valor en el tratamiento aplicado con Ca + 2,4-DP, mostrando un incremento de un 4,7% con respecto al testigo, mientras que los tratados con Ca y 2,4-DP presentan valores intermedios. Sin embargo, al observar el contenido de Ca expresado en mg por fruto, a pesar de que tampoco se observan diferencias significativas, el tratamiento 2,4-DP presenta una tendencia hacia un menor valor en comparación al resto de los tratamientos, con una diferencia de 8,9% con respecto al tratamiento Ca + 2,4-DP (cuadro 9).

Cuadro 9. Concentraciones de calcio en hojas y frutos de nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP.  $\pm$  error estándar.

Tratamiento	Ca en hoja (%)	Ca mg/100g peso fresco	Ca mg/kg peso seco	Ca mg/fruto
Testigo	4,21 $\pm$ 0,11	8,0 $\pm$ 0,6	480,5 $\pm$ 12,2	79,2 $\pm$ 2,1
Ca	4,25 $\pm$ 0,11	7,4 $\pm$ 0,6	493,5 $\pm$ 12,7	78,7 $\pm$ 2,3
2,4-DP	4,30 $\pm$ 0,11	7,9 $\pm$ 0,6	495,6 $\pm$ 12,7	73,5 $\pm$ 2,3
Ca + 2,4-DP	4,23 $\pm$ 0,11	7,7 $\pm$ 0,6	504,3 $\pm$ 32,8	80,7 $\pm$ 5,6
p-valor	0,940	0,757	0,416	0,105

## DISCUSIÓN

El tamaño de fruto y la producción son variables altamente relevantes en la rentabilidad de un huerto frutal, y por ello se espera que los manejos que se implementan en los huertos logren maximizar dichos aspectos. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que las aplicaciones de 2,4-DP en 80% caída de pétalos redujeron el tamaño y la producción (cuadros 1 y 2). Resultados similares han sido reportados por otros autores, en donde se han encontrado reducciones en el tamaño de los frutos en manzano Royal Gala ocasionados por una mayor concentración de IAA aplicados 30 días después de plena flor (Zhao *et al.*, 2021; Devoghalaere *et al.*, 2012). Sin embargo, ensayos realizados con 2,4-DP en otras especies como cerezo, ciruelo japonés y damasco, aplicado en etapas más tardías como endurecimiento de carozo incrementaron el tamaño de los frutos (Agustí *et al.*, 1994; Stern *et al.*, 2007a; Stern *et al.*, 2007b). Estos resultados permiten pensar que el efecto de este regulador auxínico sería dependiente del estado fisiológico del fruto, lo que llevaría a pensar que la aplicación de 2,4-DP, en carozos, debería ser realizada con frutos de mayor edad fisiológica. Pese a la diferencia significativa encontrada en el tamaño del fruto, estimada en un diferencial de 1,3 kg por árbol, es decir, una disminución de un 4% respecto a los kilogramos totales de los árboles testigos, la rentabilidad del huerto no se vería realmente afectada.

Uno de los principales problemas que se puede producir durante el almacenamiento refrigerado de la fruta es el daño por frío, expresándose en duraznos y nectarines como pardeamiento interno de la pulpa y harinosidad (Lurie y Crisosto, 2005; Aubert *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que en los nectarines tratados con Ca y 2,4-DP, el pardeamiento interno estuvo ausente a salida de frío, mientras que en madurez de consumo el tratamiento con Ca indujo una menor incidencia en comparación con el control (Figura 2). Por su parte, las aplicaciones con Ca + 2,4-DP redujeron la harinosidad evaluada en la última fecha de evaluación (Figura 3). Lurie y Crisosto (2005), han señalado que algunos desórdenes fisiológicos generados durante la poscosecha, estarían relacionados con el contenido de Ca en la fruta. Además, las causas que originan estos problemas podrían ser ocasionados por la acción de enzimas que modifican la pared celular durante la maduración de los frutos y a su vez por una menor fijación del Ca en la pared celular (Manganaris *et al.*, 2006; Tucker *et al.*, 2017). En otras especies como la piña, se ha observado una menor severidad del pardeamiento interno del fruto asociada a una mayor concentración de Ca en la pulpa (Hewajulige *et al.*, 2003). Al analizar los resultados obtenidos de daño por frío con las concentraciones de Ca (Cuadro 9), no es posible asociar los desórdenes fisiológicos registrados con las concentraciones de Ca encontradas en la fruta. Sin embargo, en este trabajo sólo se determinó la concentración de Ca total, y no la proporción de este que podría estar fijado en la pared celular y en organelos como la vacuola y el retículo endoplasmático al interior de la célula. En tal sentido, es posible hipotetizar que la reducción en el pardeamiento y la harinosidad verificados en este experimento, como respuesta a las aplicaciones de Ca y Ca+2,4-DP respectivamente, podrían ser atribuidas a una mayor fijación de Ca en la pared celular de los frutos tratados con Ca, cuya magnitud no es posible de conocer sólo con el análisis de Ca total.

La firmeza es considerada como uno de los principales atributos de calidad de la fruta, cuya evolución suele mostrar una disminución durante el período de almacenamiento en frío (Valero *et al.*, 2008). Además, mediante pruebas de punción o compresión según el tipo de sonda utilizada en la analítica, es posible cuantificar la firmeza de un fruto (Abbott, 1999; Contador *et al.*, 2015; Contador *et al.*, 2016). Sin embargo, para mantener la calidad de la fruta durante el almacenamiento hasta su consumo es deseable que la firmeza no disminuya significativamente (Gwanpua *et al.*, 2014). En este experimento, la firmeza de la pulpa no fue influenciada por los tratamientos, sin embargo, se observó una tendencia positiva entre dicha variable y las aplicaciones de Ca (Cuadro 4). Por su parte, la fuerza máxima medida en la pulpa arrojó un valor significativamente mayor en los frutos provenientes de los árboles tratados con Ca + 2,4-DP (Cuadro 5), lo cual indica que dicho tratamiento promovió una mayor firmeza de la pulpa en relación con el testigo. Estos resultados, al igual que aquellos relativos al daño por frío, no se asocian con la concentración de Ca de la pulpa evaluada en este estudio, lo que pone en evidencia la necesidad de incorporar mediciones específicas sobre Ca alojado en la pared celular en futuras investigaciones. Algunos autores han señalado que, ante cualquier déficit localizado de Ca se pueden generar fugas desde la membrana desencadenando el ablandamiento irregular de la pared celular (Bai *et al.*, 2021). Dentro de los factores que pueden provocar el ablandamiento de la fruta, enzimas como la poligalacturonasa podrían degradar la pared celular al solubilizar las pectinas y en este contexto el Ca inhibe la acción de dicha enzima, al ser un componente principal de la pared celular (Hocking *et al.*, 2016; Brummell y Harpster, 2001; Ranjbar *et al.*, 2018). En tomate se observó que la firmeza disminuyó al mismo tiempo que aumentó la enzima poligalacturonasa (Priyu *et al.*, 1996). Otros investigadores obtuvieron manzanas más firmes como respuesta a aplicaciones de reguladores de crecimiento de tipo auxínico en frutos jóvenes, y observaron en ellos una reducción del flujo de Ca en la membrana del protoplasto, concluyendo que la reducción del flujo celular de Ca mantiene la viabilidad de la célula e incrementa la firmeza de la pulpa del fruto (Huang *et al.*, 2020).

El efecto sinérgico del tratamiento Ca+2,4-DP, en la reducción del ablandamiento analizado según la variable fuerza máxima de compresión en la variedad Andesnectres evidenciado en este estudio, así como el efecto del Ca en la maduración de la fruta aún no está bien estudiado (Hocking *et al.*, 2016). Efectos similares han sido reportados en tomate, en donde inhibidores del transporte de auxina disminuyeron la acumulación de Ca en los frutos (Brown y Ho, 1993). En kiwi, a través de aplicaciones de ácidos hidroxicinámicos que evitan la degradación de las auxinas, se registró un incremento en la concentración de Ca en el fruto (Montanaro *et al.*, 2007). Otros estudios señalan que aplicaciones con reguladores de crecimiento como el NAA en conjunto con aplicaciones de Ca durante el período de floración en tomate aumentaron la acumulación de Ca mejorando la poscosecha (Abbasi *et al.*, 2013). Tales evidencias, sugieren la necesidad de conducir estudios utilizando herramientas moleculares con el propósito de comprender los mecanismos fisiológicos que vinculan la sinergia entre la homeostasis del Ca y las auxinas en las plantas.

La concentración de Ca total en hoja y frutos no fueron influenciadas por los tratamientos. Sin embargo, se verificó una tendencia positiva entre la concentración de Ca en base a peso seco en la fruta y las aplicaciones de Ca+2,4-DP (Cuadro 9). Este resultado podría estar relacionado al período en el cual se aplicó el Ca al suelo, el cual corresponde a momentos de máxima tasa transpiratoria de los frutos, lo que aseguraría una mayor movilización del Ca

hacia los frutos a través del xilema (Hocking *et al.*, 2016; Winkler *et al.*, 2020). Además, la fuente de Ca utilizada sólo contaba con dicho mineral, evitando la absorción de otros minerales en estados fenológicos que no son requeridos por los frutos, como es el caso de las aplicaciones de nitratos de calcio al suelo.

VARIABLES COMO SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ, RELACIÓN SS/A, DESHIDRATACIÓN, DIÁMETRO ECUATORIAL Y CONCENTRACIÓN DE Ca EN HOJA NO ARROJARON DIFERENCIAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS. Los sólidos solubles a salida de frío fueron menores con la aplicación de 2,4-DP (Cuadro 6) y luego se igualaron en madurez de consumo, lo que podría ser atribuible en parte al tamaño de la muestra de cada fecha de evaluación y probablemente a la conversión de azúcares en dicho tratamiento durante el almacenamiento refrigerado (Zhao *et al.*, 2019b). Por otra parte, la acidez fue disminuyendo desde cosecha hasta la madurez de consumo al igual que otras frutas como la cereza (Serrano *et al.*, 2009), y esto se debe a que los ácidos orgánicos como el ácido málico, son usados como sustrato de la respiración durante la madurez (Sekhara y Ramakrishnan 1956; Aubert *et al.*, 2003; Aubert *et al.*, 2014).

La deshidratación aumentó entre cosecha y madurez de consumo, determinada por la diferencia en pérdida de peso entre ambos períodos, siendo aceptables comercialmente en comparación a lo observado por Nunes y Edmon (2007), quienes encontraron una correlación significativa entre la pérdida de peso y la calidad visual de la fruta, ocasionada en este caso por el cambio de temperatura entre el almacenamiento refrigerado a 0°C y a temperatura ambiente promedio de 22°C. Otros autores han señalado diferencias de peso del 0,7% a los 28 días de salida de frío (Zhao *et al.*, 2018), valores muy cercanos a los encontrados en este estudio en donde se observaron entre 0,9 a 1% a los 32 días de almacenamiento.

## CONCLUSIONES

De acuerdo los resultados obtenidos en este estudio, es posible concluir que:

Las aplicaciones de Ca reducen el pardeamiento interno y la harinosidad en madurez de consumo en la fruta, pero no modifican otras variables cualitativas de la fruta y productivas del huerto.

Las aplicaciones de 2,4 DP reducen: la masa de los frutos, la producción por árbol, la firmeza de los frutos a cosecha y el pardeamiento de la fruta a salida de frío.

Las aplicaciones de 2,4 DP + Ca incrementan la fuerza máxima de compresión de los frutos y reducen la harinosidad a madurez de consumo.

Los resultados obtenidos indican que los tratamientos evaluados no modificaron claramente la concentración de Ca total en los frutos, lo que sugiere la necesidad de incorporar determinaciones relativas a la localización y cuantificación de Ca en la pared celular, en futuras investigaciones sobre la relación de estos tratamientos.

**LITERATURA CITADA**

- Abbasi, N. A., Zafar, L., Khan, H. A., and Qureshi, A. A. 2013. Effects of naphthalene acetic acid and calcium chloride application on nutrient uptake, growth, yield and postharvest performance of tomato fruit. *Pak. J. Bot.*, 45(5): 1581-1587.
- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 15(3): 207-225.
- Agusti, M., Juan, M., Almela, V., and Speroni, C. 1994. The effect of 2,4-DP on fruit development in apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 57(1-2): 51-57.
- Aubert, C., Günata, Z., Ambid, C., and Baumes, R. 2003. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of yellow-and white-fleshed nectarines during maturation and artificial ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10): 3083-3091.
- Aubert, C., Bony, P., Chalot, G., Landry, P., and Lurol, S. 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.
- Bai, Q., Shen, Y., and Huang, Y. 2021. Advances in Mineral Nutrition Transport and Signal Transduction in Rosaceae Fruit Quality and Postharvest Storage. *Frontiers in Plant Science*, 12: 68.
- Banuelos, G. S., Bangerth, F., and Marschner, H. (1987). Relationship between polar basipetal auxin transport and acropetal Ca transport into tomato fruits. *Physiologia Plantarum*, 71(3): 321-327.
- Brown, M. M., and Ho, L. C. 1993. Factors affecting calcium transport and basipetal IAA movement in tomato fruit in relation to blossom-end rot. *Journal of Experimental Botany*, 44(7): 1111-1117.
- Brummell, D. A., and Harpster, M. H. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Cell Walls*. 311-340.
- Cano-Salazar, J., López, L., Crisosto, C. H., and Echeverría, G. 2013. Cold storage of six nectarine cultivars: consequences for volatile compounds emissions, physicochemical parameters, and consumer acceptance. *European Food Research and Technology*, 237(4): 571-589.
- Ciccarese, A., Stellacci, A. M., Gentileco, G., and Rubino, P. 2013. Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grapefruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 75: 135-141.

- Contador, L., Shinya, P., and Infante, R. 2015. Texture phenotyping in fresh fleshy fruit. *Scientia Horticulturae*, 193: 40-46.
- Contador, L., Díaz, M., Millanao, M., Hernández, E., Shinya, P., Sáenz, C., and Infante, R. 2016. A proposal for determining the flesh softening of peach and nectarine in postharvest through simplified targeted modeling. *Scientia Horticulturae*, 209: 47-52.
- Cutting, J. G. M., and Bower, J. P. 1989. The relationship between basipetal auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado. *Scientia Horticulturae*, 41(1-2): 27-34.
- De Freitas, S. T., and Mitcham, E. I. 2012. 3 Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural Reviews*, 40(1): 107-146.
- De Freitas, S. T., Do Amarante, C. V. T., and Mitcham, E. J. 2015. Mechanisms regulating apple cultivar susceptibility to bitter pit. *Scientia Horticulturae*, 186: 54-60.
- Devoghalaere, F., Doucen, T., Guitton, B., Keeling, J., Payne, W., Ling, T. J., and David, K. M. 2012. A genomics approach to understanding the role of auxin in apple (*Malus x domestica*) fruit size control. *BMC Plant Biology*, 12(1): 1-15.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M., Gonzalez L, Tablada M, Robledo C. 2017. Infostat-Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gwanpua, S. G., Van Buggenhout, S., Verlinden, B. E., Christiaens, S., Shpigelman, A., Vicent, V., and Geeraerd, A. 2014. Pectin modifications and the role of pectin-degrading enzymes during postharvest softening of Jonagold apples. *Food Chemistry*, 158: 283-291.
- Hewajulige, I. G. N., Wilson Wijeratnam, R. S., Wijesundera, R. L. C., and Abeysekere, M. 2003. Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14): 1451-1454.
- Hepler, P. K., and Winship, L. J. 2010. Calcium at the cell wall-cytoplasm interface. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(2): 147-160.
- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., and Gilliam, M. 2016. Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7: 569.
- Ho, L. C., Belda, R., Brown, M., Andrews, J., and Adams, P. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany*, 44(2): 509-518.
- Huang, Y., Qiu, L., Wang, Y., Yuan, Y., and Qu, H. 2020. Ca efflux is negatively correlated with apple firmness. *Scientia Horticulturae*, 270: 109439.

Lurie, S., and Crisosto, C. H. 2005. Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, 37(3): 195-208.

Maathuis, F. J. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3): 250-258.

Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., and Mignani, I. 2006. Cell wall physicochemical aspects of peach fruit related to internal breakdown symptoms. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1): 69-74.

Montanaro, G., Treutter, D., and Xiloyannis, C. 2007. Phenolic compounds in young developing kiwifruit in relation to light exposure: implications for fruit calcium accumulation. *Journal of Plant Interactions*, 2(1): 63-69.

Montanaro, G., Dichio, B., and Xiloyannis, C. 2010. Significance of fruit transpiration on calcium nutrition in developing apricot fruit. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(4): 618-622.

Montanaro, G., Dichio, B., Lang, A., Mininni, A. N., Nuzzo, V., Clearwater, M. J., and Xiloyannis, C. 2014. Internal versus external control of calcium nutrition in kiwifruit. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(6): 819-830.

Montanaro, G., Dichio, B., Lang, A., Mininni, A. N., and Xiloyannis, C. 2015. Fruit calcium accumulation coupled and uncoupled from its transpiration in kiwifruit. *Journal of Plant Physiology*, 181: 67-74.

ODEPA (Oficina de estudios y políticas agrarias).2020. Superficie plantada nacional y regional número de huertos e infraestructura frutícola. Chile. Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (Consultado en mayo 2020).

Ponce, N. M., Ziegler, V. H., Stortz, C. A., and Sozzi, G. O. 2010. Compositional changes in cell wall polysaccharides from Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during growth and on-tree ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4): 2562-2570.

Ranjbar, S., Rahemi, M., and Ramezani, A. 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.

Saure, M. C. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105(1): 65-89.

Sekhara Varma, T. N., and Ramakrishnan, C. V. 1956. Biosynthesis of citric acid in citrus fruits. *Nature*, 178(4546): 1358-1359.

Serrano, M., Diaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., and Valero, D. 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.

Stern, R. A., Flaishman, M., and Ben-Arie, R. 2007a. Effect of synthetic auxins on fruit size of five cultivars of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Scientia Horticulturae*, 112(3): 304-309.

Stern, R. A., Flaishman, M., Applebaum, S., and Ben-Arie, R. 2007b. Effect of synthetic auxins on fruit development of 'Bing' cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 114(4): 275-280.

Tucker, G., Yin, X., Zhang, A., Wang, M., Zhu, Q., Liu, X., and Grierson, D. 2017. Ethylene and fruit softening. *Food Quality and Safety*, 1(4): 253-267.

Valero, C., Crisosto, C. H., and Slaughter, D. 2007. Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3): 248-253.

White, P. J., and Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4): 487-511.

White, P. J. 2001. The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany*, 52(358): 891-899.

Winkler, A., Fiedler, B., and Knoche, M. 2020. Calcium physiology of sweet cherry fruits. *Trees-Structure and Function* 2020 (34): 1157-1167.

Yamane, T., Hayama, H., Mitani, N., Inoue, H., and Kusaba, S. 2020. Contribution of several fruit quality factors and mineral elements to water-soaked brown flesh disorder in peaches. *Scientia Horticulturae*, 272: 109523.

Zhao, H., Shu, C., Fan, X., Cao, J., and Jiang, W. 2018. Near-freezing temperature storage prolongs storage period and improves quality and antioxidant capacity of nectarines. *Scientia Horticulturae*, 228, 196-203.

Zhao, H., Wang, B., Cui, K., Cao, J., and Jiang, W. 2019. Improving postharvest quality and antioxidant capacity of sweet cherry fruit by storage at near-freezing temperature. *Scientia Horticulturae*, 246:68-78.

Zhao, X., Muhammad, N., Zhao, Z., Yin, K., Liu, Z., Wang, L., and Liu, M. 2021. Molecular regulation of fruit size in horticultural plants: A review. *Scientia Horticulturae*, 288: 110353.

## ANEXO I



Figura 1. Escala subjetiva de incidencia de pardeamiento interno de la pulpa elaborada por este autor al momento de la evaluación, mediante una segregación numérica en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP evaluados a salida de frío y en madurez de consumo.

**ANEXO II**



1 = Ausente



2 = Leve



3 = Moderado



4 = Severo

Figura 2. Escala subjetiva de incidencia de harinosidad elaborada por este autor, mediante una segregación numérica en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP evaluados en madurez de consumo.

## APÉNDICE I

Cuadro 1. Valores de componentes principales obtenidos en cada una de las variables evaluadas en madurez de consumo, en nectarines var. Andesnectres tratados con Ca, 2,4-DP y la mezcla de tratamiento Ca + 2,4-DP.

Variabes	e1	e2
Masa (g)	0,11	0,56
Fuerza máxima (N)	0,41	0,06
Firmeza (lb-f)	0,41	-0,06
SS	0,21	0,37
Acidez	-0,37	-0,26
SS/A	0,40	0,19
Pardeamiento interno	-0,28	0,30
Harinosidad	-0,27	0,43
Deshidratación (%)	-0,26	-0,02
Ca (mg/kg) peso seco	0,29	-0,40

Cuadro 2. Matriz de correlación de Pearson entre masa, fuerza máxima, firmeza, SS, acidez, SS/A, pardeamiento interno, harinosidad deshidratación, concentración de Ca en nectarines tratados con Ca, 2,4-DP y Ca + 2,4-DP evaluados en madurez de consumo.

Columna1	Masa (g)	Fuerza máxima (N)	Firmeza (lb-f)	SS	Acidez	SS/A	Pardeamiento interno	Harinosidad	Deshidratación (%)	Ca (mg/kg) peso seco
Masa (g)	1									
Fuerza máxima (N)	0,38ns	1								
Firmeza (lb-f)	0,16ns	0,96*	1							
SS	0,69ns	0,50ns	0,49	1						
Acidez	-0,67ns	-0,94ns	-0,84	-0,70	1					
SS/A	0,57ns	0,97*	0,90	0,67	0,99**	1				
Pardeamiento interno	0,36ns	-0,57ns	-0,78	-0,31	0,36	-0,47	1			
Harinosidad	0,55ns	-0,55ns	-0,74	0,07	0,25	-0,37	0,90	1		
Deshidratación (%)	-0,29ns	-0,71ns	-0,54	0,11	0,62	-0,62	0,01	0,28	1	
Ca (mg/kg) peso seco	-0,45ns	0,62ns	0,72	-0,24	-0,32	0,43	-0,70	-0,93	-0,59	1

p < 0,05\*, p < 0,01\*\*, ns no significativo