

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**RESPUESTA DE LA APLICACIÓN EXÓGENA DE MELATONINA EN LA  
CALIDAD DE FRUTOS DE ARÁNDANO DURANTE LAS FASES DE  
PRECOSECHA Y POSTCOSECHA**

**POR**

**ALEJANDRO JOAQUÍN ALONSO OSSES CUEVAS**

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

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RESPUESTA DE LA APLICACIÓN EXÓGENA DE MELATONINA EN LA  
CALIDAD DE FRUTOS DE ARÁNDANO DURANTE LAS FASES DE  
PRECOSECHA Y POSTCOSECHA**

**POR**

**ALEJANDRO JOAQUÍN ALONSO OSSES CUEVAS**

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

**CONCEPCIÓN – CHILE  
2025**

Aprobada por:

Profesora Titular, María Dolores López B.  
Lic. Química, Dr. Cs. Químicas.

---

Guía

Profesor Asociado, Antonio Pinto R.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs., PhD

---

Asesor

Investigadora Clemson U., Karin Albornoz M.  
Ing. Agrónomo, PhD

---

Asesor

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

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	2
Introducción.....	2
Materiales y métodos.....	8
Resultados y discusión.....	15
Conclusiones.....	19
Referencias.....	21
Anexo.....	24

**ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

		<b>Página</b>
Figura 1	Estructura molecular de la melatonina.....	4
Figura 2	Rutas de biosíntesis de melatonina en plantas.....	6
Figura 3	Esquema de experimento en precosecha.....	10
Figura 4	Esquema de experimento en postcosecha.....	12
Tabla 1	Parámetros físicos al día 0 (día de cosecha).....	15
Tabla 2	Parámetros químicos al día 0 (día de cosecha) .....	16
Tabla 3	Parámetros físicos al día 50 (pasados 50 días desde la cosecha) .....	17
Tabla 4	Parámetros químicos al día 50 (pasados 50 días desde la cosecha) .....	18

## RESPUESTA DE LA APLICACIÓN EXÓGENA DE MELATONINA EN LA CALIDAD DE FRUTOS DE ARÁNDANO DURANTE LAS FASES DE PRECOSECHA Y POSTCOSECHA

BLUEBERRY QUALITY RESPONSE TO EXOGENOUS MELATONIN APPLICATION DURING PRE-AND POST-HARVEST

**Palabras índice adicionales:** elicitador, berries, melatonina, calidad nutricional, firmeza, arándano, antioxidante

### RESUMEN

Este estudio evaluó el efecto de la aplicación de melatonina de forma exógena sobre la calidad de frutos de arándano (*Vaccinium ashei* Reade) 'Ochlockonee', comparando su aplicación en los escenarios de precosecha (en planta) y postcosecha (fruto cosechado). En los ensayos, se evaluó firmeza, tamaño, sólidos solubles, acidez titulable, pH, polifenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH) en los frutos, tanto al momento de la cosecha (D0), como luego de 50 días de almacenamiento en frío (D50). Los frutos sometidos al tratamiento con melatonina presentaron mayor firmeza en el D0 en comparación con los controles (77 shore con melatonina, 73 shore con Tween 20 y 67 shore con agua), mientras que al D50 destacó la firmeza del tratamiento con melatonina en postcosecha respecto a los controles (55 shore con melatonina; 49 shore con Tween 20; 46 shore con agua). Además, al día de cosecha los frutos tratados con melatonina presentaron una mayor concentración de polifenoles totales (182 mg / 100 g) y capacidad antioxidante (16,23  $\mu\text{mol}$  / g). Aunque los efectos a largo plazo de las aplicaciones en precosecha y postcosecha fueron similares, la aplicación en precosecha se posiciona como la opción más ventajosa por reducir la manipulación posterior a la cosecha, alineándose con las demandas del mercado actual. Así, la aplicación exógena de melatonina representa una herramienta prometedora para mejorar la calidad, vida útil y valor nutricional de los frutos de arándanos.

## SUMMARY

This study evaluated the effect of exogenous melatonin application on the fruit quality of blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) 'Ochlockonee', comparing its application in preharvest (on-plant) and postharvest (harvested fruit) scenarios. The trials assessed firmness, size, soluble solids, titratable acidity, pH, total polyphenols, and antioxidant capacity (DPPH) in the fruits both at harvest (D0) and after 50 days of cold storage (D50). Fruits treated with melatonin showed higher firmness at D0 compared to controls (77 shore with melatonin, 73 shore with Tween 20, and 67 shore with water), while at D50 firmness was higher in the postharvest melatonin treatment compared to controls (55 shore with melatonin; 49 shore with Tween 20; 46 shore with water). Additionally, at harvest, melatonin-treated fruits exhibited greater total polyphenol content (182 mg / 100 g) and antioxidant capacity (16.23  $\mu\text{mol} / \text{g}$ ). Although the long-term effects of preharvest and postharvest applications were similar, preharvest application is positioned as the more advantageous option due to reduced handling after harvest, aligning with current market demands. Thus, exogenous melatonin application represents a promising tool to improve the quality, shelf life, and nutritional value of blueberry fruits.

## INTRODUCCIÓN

El arándano, es un arbusto perteneciente al género *Vaccinium* (familia Ericaceae), originarios de Norteamérica (Zong et al., 2019). Si bien el género incluye una amplia diversidad de especies, solo algunas han adquirido relevancia comercial, tales como el arándano siempre verde o evergreen (*V. darrowi* Camp), el arándano ojo de conejo (*V. virgatum* Aiton) y el arándano alto o highbush (*V. corymbosum* L.) debido a sus características agronómicas y estándares de calidad superiores (Undurraga & Vargas, 2013). El fruto, principal órgano de consumo y comercialización, posee una morfología esférica (1 - 3 cm de diámetro y un peso que oscila entre 0,5 - 4 g) y experimenta una evolución cromática progresiva que culmina en su característico color azul al alcanzar la madurez (Pomar, 2016). Asimismo, los arándanos son reconocidos por su alto contenido en fitonutrientes y compuestos fenólicos, especialmente antocianinas, los cuales aportan propiedades antioxidantes

asociadas a la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y metabólicas (Marina et al., 2019).

El cultivo comercial del arándano se introdujo en Chile a mediados de los años ochenta, aunque su expansión se intensificó a partir de los años noventa. Esta tendencia se ha replicado en otros países del hemisferio sur, como Argentina, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica. Y ha colocado a naciones exportadoras como Chile, Perú, Estados Unidos y México en posiciones destacadas frente a importadores de Estados Unidos, Canadá, Europa y Asia (Gamez, 2002).

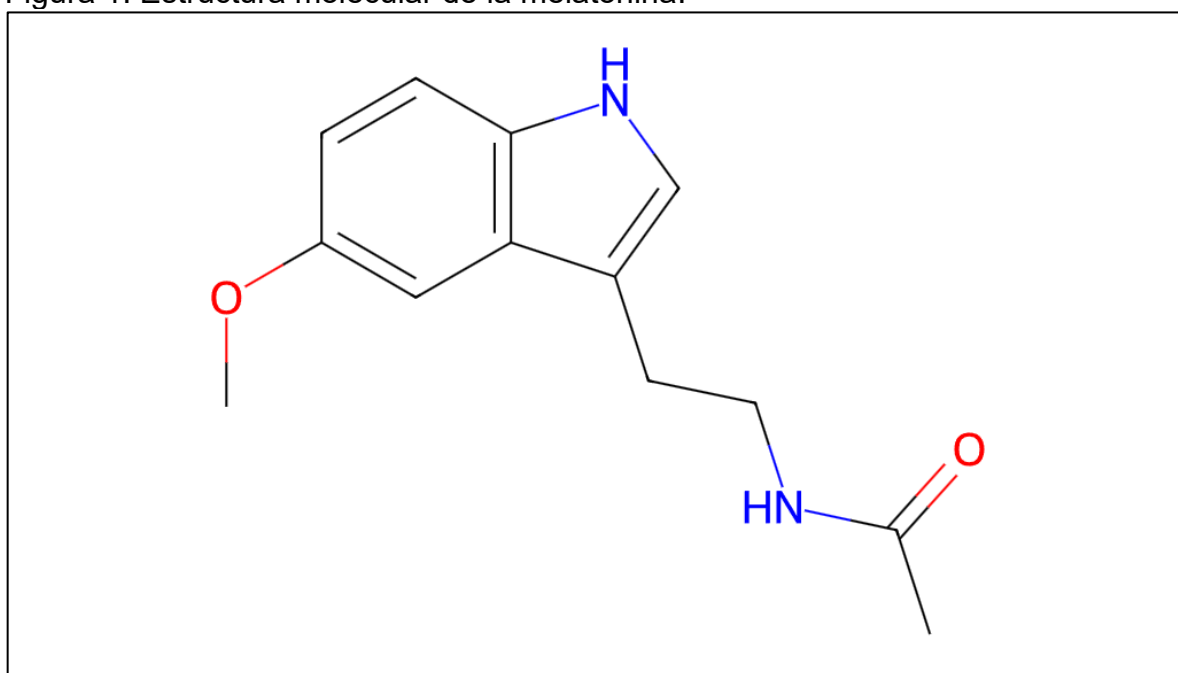
En la última década, el área cultivada en Chile con este frutal también ha experimentado un gran incremento, pasando de 14.000 hectáreas en 2014 a 17.000 hectáreas en 2024 (Valdés, 2024).

La mayor participación de nuevos países en la producción de este fruto, junto con la evolución de las demandas del mercado, requiere el desarrollo de tecnologías innovadoras que garanticen un producto que cumpla con los estándares de calidad esperados, con el fin de ser más competitivos. Además, durante la cadena de distribución el arándano puede experimentar diversos procesos de deterioro, los cuales pueden generar pérdidas de hasta un 40 % antes de llegar al consumidor (Kitinoja et al., 2011). Por lo que las exigencias se vuelven aún más restrictivas en el actual contexto mundial donde la inocuidad y seguridad de los alimentos debe ser garantizada en todo momento (Battistoni et al., 2020). También, cada vez son más los consumidores que exigen una producción de alimentos más natural, sostenible, de calidad, con una vida útil más larga y sin conservantes artificiales (Saavedra et al., 2016). Es por estos factores que es fundamental buscar formas de conservar la calidad e inocuidad de los frutos el máximo tiempo posible. Es ahí donde destaca la elicitación con metabolitos bioactivos, práctica que se considera una herramienta clave en la industria hortofrutícola, orientada a la producción de alimentos con un alto contenido nutracéutico y al enriquecimiento de sus compuestos fitoquímicos, ésta consiste en realizar tratamientos con sustancias externas que estimulen respuestas metabólicas en las plantas relacionadas a sus mecanismos de defensa. Algunos compuestos elicitors logran mejorar las propiedades organolépticas de los productos, también desempeñan un papel importante en brindar capacidad de

protección de las células humanas contra procesos oxidativos. Además, poseen propiedades antimicrobianas y ayudan a resaltar el color de frutas y verduras (Baenas et al., 2014).

Dentro de las moléculas que podrían utilizarse en este tipo de elicitación, destaca la N-acetil-5-metoxitriptamina, también conocida como melatonina, una molécula que se sintetiza de forma endógena y se localiza de forma natural tanto en humanos como animales y en todos los órganos de las plantas (Medina-Santamarina, 2023) y cuya estructura molecular podemos observar en la Fig 1.

Figura 1. Estructura molecular de la melatonina.



Fuente: Chemspider (<https://www.chemspider.com/>)

Esta molécula bioactiva fue descubierta por primera vez en animales en 1958 (Lerner et al., 1958). Su biosíntesis comienza con la hormona neurotransmisora serotonina, la cual es el precursor inmediato de la melatonina, siendo primero acetilada por la enzima serotonina N-acetiltransferasa (AANAT) para formar N-acetilserotonina, la cual es finalmente metilada por la enzima hidroxindol-O-metiltransferasa (HIOMT), dando como resultado la síntesis de melatonina (Reiter, 1991).

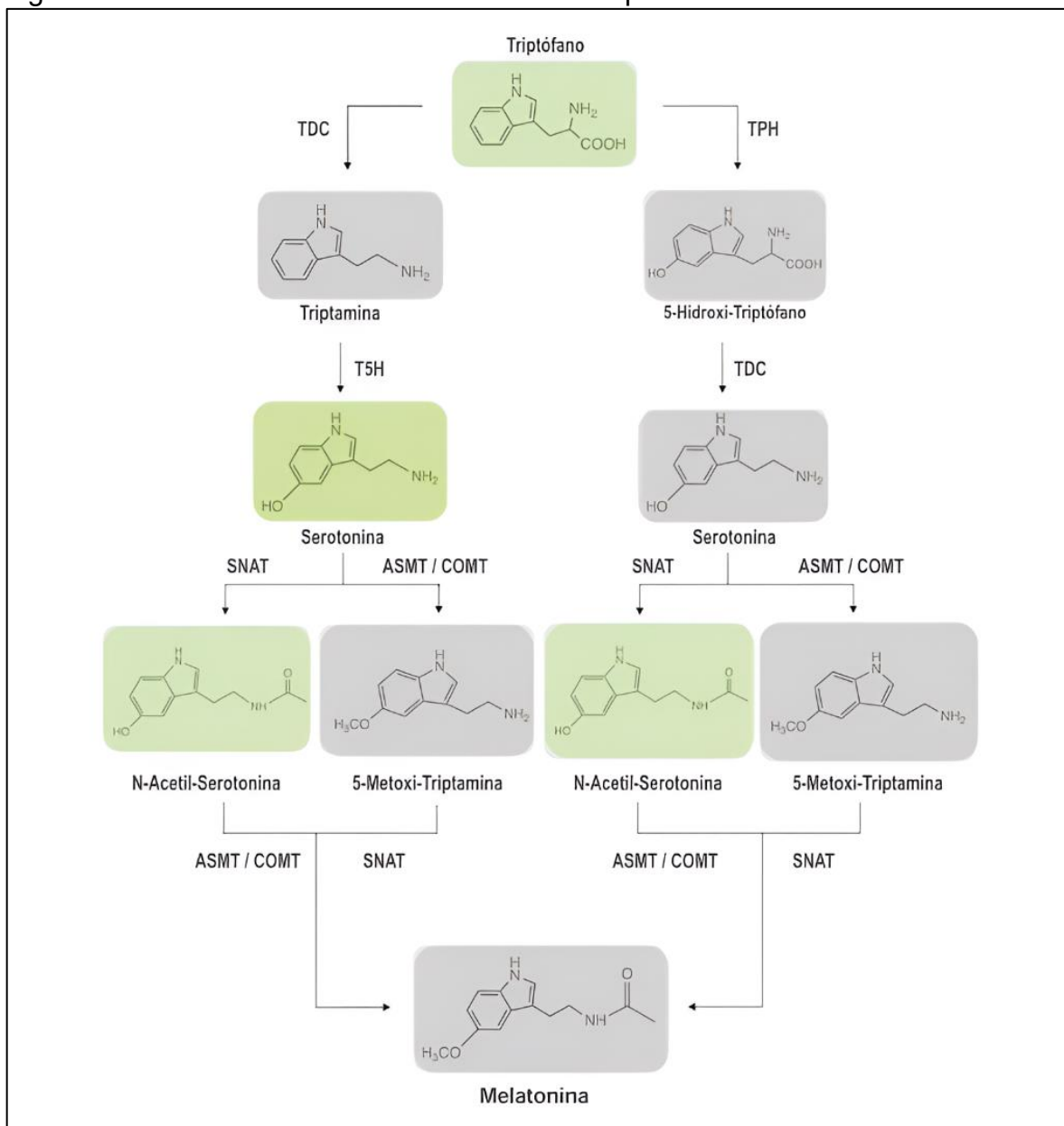
La melatonina cumple diversas funciones fisiológicas en seres vivos, influyendo en el estado de ánimo, los ritmos cardíacos, la regulación de la actividad metabólica

y hormonal, así como regulando el ciclo de sueño, la temperatura corporal y el apetito.

Posteriormente, en Japón, se descubrió su presencia natural en tejidos vegetales (Hattori et al., 1995). Desde entonces ha sido objeto de estudio en plantas superiores. La biosíntesis de melatonina en plantas se inicia a partir del triptófano, siguiendo generalmente una ruta de cuatro pasos: descarboxilación a triptamina, hidroxilación a serotonina, acetilación a N-acetilserotonina y metilación final para formar melatonina. En algunas especies, el orden de los dos primeros pasos puede invertirse, asemejándose al proceso observado en animales. Además, existen rutas alternativas que incluyen el uso de 5-metoxitriptamina como precursor, así como una reacción reversible entre serotonina y N-acetilserotonina (González, 2020), como se representa en la Fig 2.

Hoy en día, se considera un regulador multifuncional de crecimiento en las plantas (Arnao & Hernández-Ruiz, 2015). Además, se ha demostrado que la melatonina cumple un papel en el proceso de senescencia del fruto (Medina-Santamarina, Zapata, et al., 2021). Con el paso del tiempo cada vez se van descubriendo más funciones fisiológicas de la melatonina, tanto en plantas como en animales.

Figura 2. Rutas de biosíntesis de melatonina en plantas.



Fuente: Adaptado de (González Rodríguez, 2020)

Se han evidenciado efectos beneficiosos de la melatonina aplicada de forma exógena en productos hortofrutícolas, al aumentar la tolerancia al frío y mejorar la calidad postcosecha en diversas especies vegetales (Medina-Santamarina, 2023). Esta molécula actúa como antioxidante en las plantas, neutralizando los radicales libres y protegiendo las macromoléculas del daño por estrés oxidativo (Reiter et al., 2001). Asimismo, regula el crecimiento, interfiere en funciones de las auxinas y participa en activar la germinación, al tiempo que retrasa la senescencia foliar (Chen

et al., 2009; Arnao & Hernández-Ruiz, 2014). Endógenamente, cumple funciones contra el estrés biótico y abiótico, así como la tolerancia a metales pesados, sequía, radiación UV, estrés por temperaturas extremas, entre otros (Raharivelomanana et al., 2021).

Diversos estudios han comprobado beneficios de la melatonina aplicada de forma exógena en frutos, como elevar el rendimiento, mejorar y mantener por más tiempo la calidad de frutos de damasco (Medina-Santamarina, Zapata, et al., 2021), fruto de granada (Medina-Santamarina, Serrano, et al., 2021), cereza (Carrión-Antolí, Lorente-Mento, et al., 2022) y limón (Badiche-El Hilali et al., 2023). También se ha comprobado que reduce el daño por frío y retarda la maduración organoléptica en frutos de chirimoya y mango (Medina-Santamarina et al., 2023; Bhardwaj et al., 2022).

Si bien existen estudios de aplicación exógena en precosecha, como aumento de calibre en cerezas gracias a aplicación foliar (Cortés-Montaña et al., 2022) y en postcosecha, la preservación de calidad y compuestos bioactivos en limón (Badiche-El Hilali et al., 2023), hasta ahora no se ha comparado en qué momento del proceso productivo la aplicación dará mejores resultados en relación con su calidad.

Por lo tanto, en este proyecto se planteó un estudio de aplicación de melatonina de forma exógena en frutos de arándano, tanto en precosecha como en postcosecha, para así comprobar el efecto de la melatonina sobre la calidad de los frutos, así como comparar el modo óptimo de aplicación.

Para ello, se evaluaron diversos parámetros de calidad de los frutos bajo dos escenarios de aplicación de melatonina, considerando aspectos como la firmeza, contenido de azúcares, acidez, capacidad antioxidante, entre otros. Además, se investigó la relación entre el contenido de polifenoles totales en los frutos y la aplicación de melatonina, dado el vínculo entre estos compuestos y las propiedades antioxidantes del fruto. Finalmente, se determinó el momento óptimo de aplicación de melatonina a partir de los resultados del estudio, comparando los efectos de su uso en cada etapa, con el objetivo de identificar la estrategia que mejor preserve la calidad y prolongue la vida útil de los frutos.

Este análisis comparativo de ambas estrategias permitiría definir el momento óptimo para la aplicación de melatonina, asegurando la preservación de la calidad y la extensión de la vida útil de los arándanos, aspectos críticos en el competitivo ámbito del comercio global de frutas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Plantas y terreno**

El ensayo se llevó a cabo durante la temporada 2023 - 2024 en el Fundo San Cristóbal (37°07'50"S 72°35'35"W a 109 m.s.n.m.) de la agrícola FISTUR, Camino Rio claro, Yumbel, Región del BíoBío. En esta zona, durante el periodo de 2023 se registraron 840,1 mm de precipitación acumulada, y las temperaturas mínima y máxima del aire fueron de 7,2 °C y 20,6 °C, respectivamente (Anexo 1) (Agrometeorología | INIA, 2023).

Se utilizaron 40 plantas de *Vaccinium ashei* Reade (arándano tipo ojo de conejo o rabbiteye) de la variedad Ochlockonee, nativa de Georgia, del sur de USA, la cual se caracteriza por tener una alta productividad (González et al., 2017).

Se contó con un análisis de suelo realizado en enero de 2023 (Anexo 2). El cuartel dentro del cual se realizó el estudio, de nombre HA2-4, contaba con 9 años de antigüedad al momento del experimento. Éste fue plantado en el año 2015 con un marco de plantación de 3,2 m<sup>2</sup>.

### **Preparación de los tratamientos de melatonina**

Se utilizó melatonina (N-Acetyl-5-methoxytryptamine) adquirida de Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA), en una dosis de 300 µmol L<sup>-1</sup> en agua y Tween 20 al 0,05 % (v/v) (MT) (Qu et al., 2022). Este último se añadió con el objetivo de mejorar la adherencia a los frutos y homogeneidad de la solución. También fue utilizado el surfactante Tween 20 en una concentración de 0,05 % (v/v) como control positivo (C1) y otro control con agua (C2). Esta solución fue preparada en campo momentos antes de las aplicaciones. Se aplicó un volumen de 1 L de solución por planta en la etapa de precosecha, mediante pulverización manual, utilizando una bomba de espalda de 15 L modelo SOLO 425 CLASSIC, con la que se logró una cobertura

total de los frutos con la solución preparada. Para el ensayo de postcosecha, se utilizaron las mismas dosis rociando envases tipo clamshell que contenían 100 g de fruta hasta lograr una cobertura total. El diseño experimental detalla esta información.

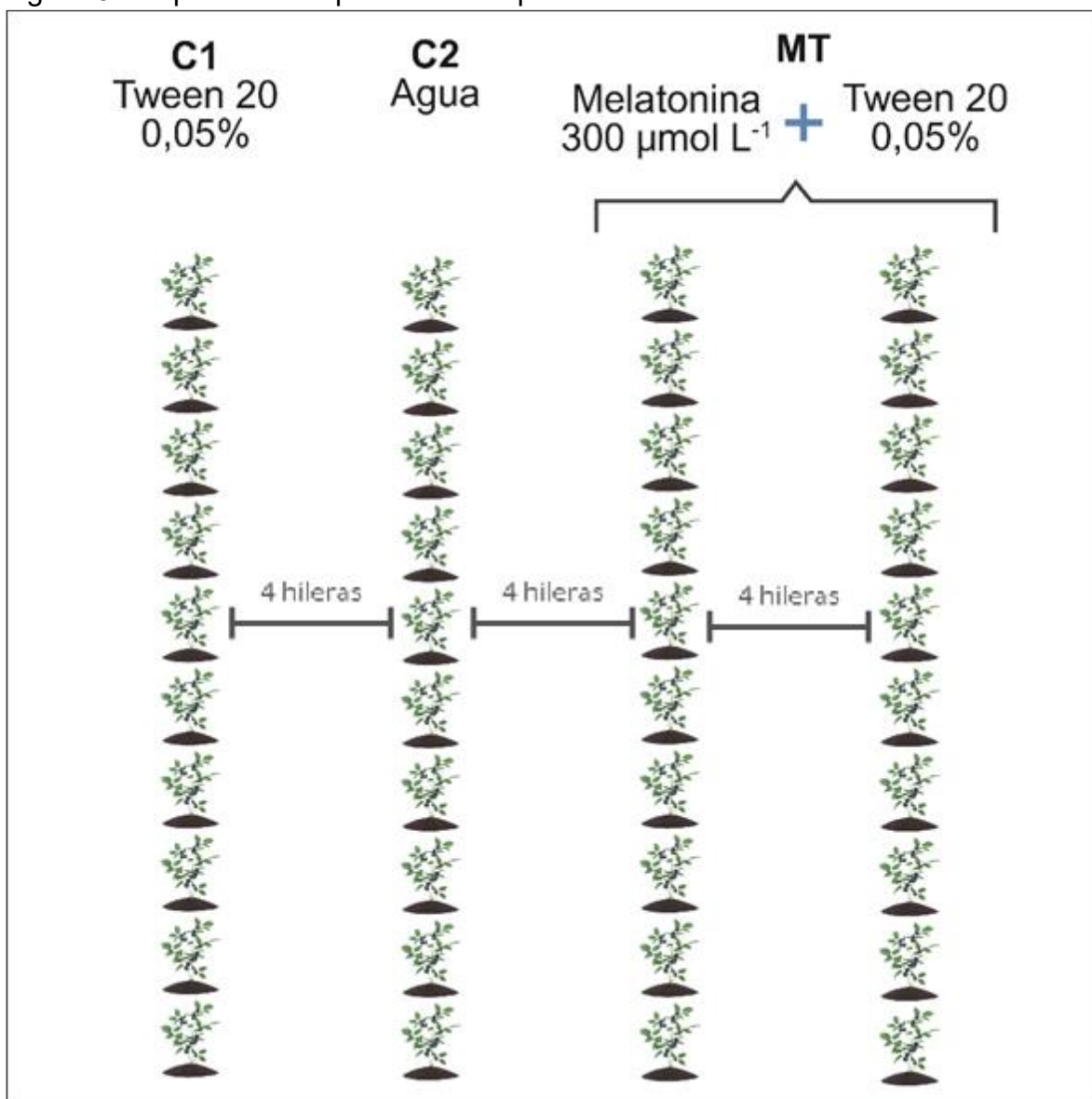
### **Diseño experimental**

El diseño experimental en campo (precosecha) se estructuró como un diseño completamente al azar. Se establecieron 10 réplicas para los tratamientos control y 20 réplicas para el tratamiento con melatonina, considerando como unidad experimental una planta individual. Para cada réplica, se cosechó aproximadamente 1 Kg de fruto de la zona media de la planta, del cual se obtuvieron las muestras.

Para el diseño experimental en cámara de frío (postcosecha), se consideró un diseño completamente al azar.

**Ensayo en precosecha.** Para las aplicaciones en etapa de precosecha, se aislaron cuatro hileras dentro del cuartel, cada una compuesta por 10 plantas, destinadas al desarrollo del experimento. Entre cada hilera tratada se dejaron 4 hileras sin tratar de separación, para evitar el efecto deriva. Dos de estas hileras tratadas se asignaron como tratamientos control: una con aplicación solución de surfactante (C1) y otra con agua (C2). Las dos hileras restantes recibieron el tratamiento experimental con melatonina (MT), como se muestra en la Fig 3. Los tratamientos fueron aplicados en dos ocasiones, correspondientes a distintos estados fenológicos clave, determinados según el informe semanal del estado fenológico emitido por el encargado del cuartel.

Figura 3. Esquema de experimento en precosecha



Fuente: elaboración propia

Las aplicaciones fueron realizadas en dos ocasiones con el objetivo de mitigar posibles pérdidas por volatilización o degradación ambiental de la melatonina: una primera aplicación el 12 enero 2024 (el cuartel se encontró en estado fenológico de 100 % frutos verdes, ya concluida la caída de pétalos) y otra segunda aplicación el 18 enero 2024 (el cuartel se encontró en 75 % de fruta azul, próxima a ser cosechada).

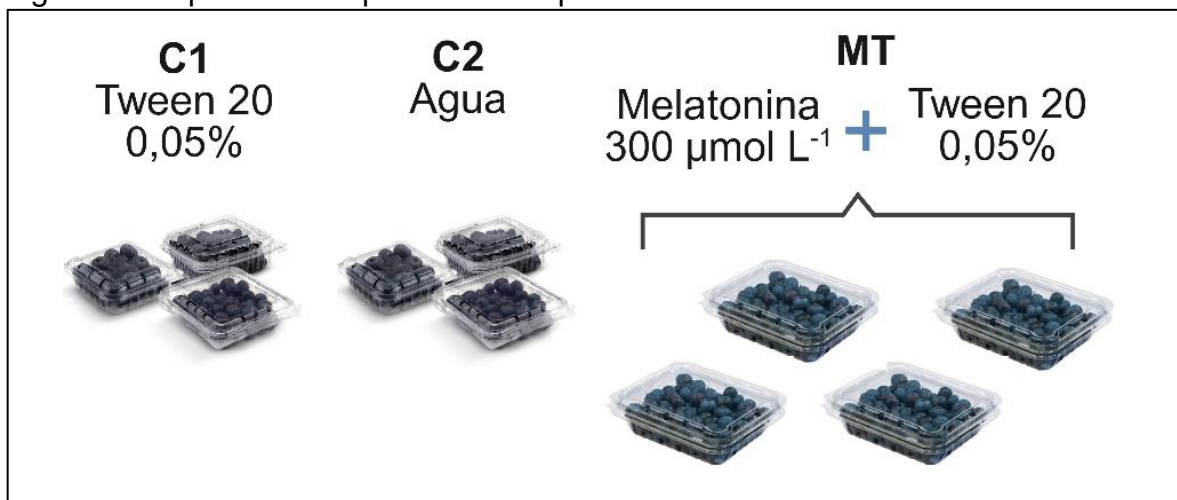
Estas aplicaciones se realizaron en la mañana, sin vientos significativos y sin pronóstico de precipitaciones en las 48 horas posteriores a la aplicación.

La cosecha se realizó manualmente el día 24 de enero de 2024 (considerados D0 en las evaluaciones). Del total cosechado de cada planta, se seleccionaron al azar 10 frutos inmediatamente después de la recolección, los cuales fueron destinados a la evaluación de parámetros físicos de calidad. Luego de estas mediciones, estos frutos fueron congelados para ser posteriormente utilizados en el análisis de parámetros químicos, realizado en laboratorio. El resto de los frutos recolectados fue almacenado en frío durante 50 días a una temperatura de 4 °C y una humedad relativa en un rango estimado de 40 – 70 %, utilizando un sistema de refrigeración convencional (marca Maigas), con el objetivo de preservar sus características para una futura segunda medición y comparación evolutiva con los frutos que fueron tratados en postcosecha (considerado D50 en las evaluaciones).

**Ensayo en postcosecha.** Para el tratamiento en etapa de postcosecha, se utilizaron 10 cajas tipo *clamshell* PET de 4.4 oz con aperturas y ventilación, cada una conteniendo 100 g de frutos sin tratar, los cuales fueron seleccionados al azar desde de las muestras correspondientes al control con agua del tratamiento aplicado en precosecha. Las cajas fueron rociadas desde arriba a tapa abierta con abundante solución hasta lograr una cobertura completa de los frutos, se aplicó en una ocasión ya que se encuentran en un ambiente cerrado.

Seis de estas cajas fueron control, 3 de éstas fueron rociadas con solución de surfactante Tween-20 (C1) y 3 sólo con agua (C2). Las cuatro cajas restantes fueron tratadas con solución con melatonina a una concentración de 300  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (MT), equivalente a la utilizada en el tratamiento de precosecha, como se ilustra en la Fig. 4. Posteriormente, se dejaron secar al aire a temperatura ambiente antes de ser almacenadas en frío a 5 °C para su futura medición y comparación evolutiva con los frutos que fueron anteriormente tratados en precosecha (evaluadas en D50). Sólo se realizó una aplicación en postcosecha, el día de la recolección (D0).

Figura 4. Esquema de experimento en postcosecha.



Fuente: elaboración propia.

### Evaluaciones

Se llevaron a cabo mediciones de los indicadores de calidad en los frutos en dos instancias representativas de su evolución de madurez en el ensayo de precosecha. La primera medición se realizó en el día 0 (D0), que corresponde al día de cosecha, y la segunda en el día 50 (D50), es decir, 50 días después de la cosecha. En ambas instancias, se midieron los mismos indicadores bajo los mismos parámetros establecidos, con el propósito de cuantificar la evolución de los frutos y evaluar el efecto del tratamiento con melatonina sobre los resultados obtenidos. Para el ensayo de postcosecha sólo se evaluaron a los 50 días de la aplicación (D50), ya que la aplicación para este tratamiento se realiza al D0.

### Análisis de las propiedades físicas y químicas de los frutos

Para los parámetros de propiedades físicas, se realizó un muestreo aleatorio de 10 frutos por repetición (del Kg cosechado) y se utilizó como dato final la media de estos. En el caso del D0, debido a la urgencia asociada al posible deterioro de sus propiedades físicas por efecto de las condiciones climáticas, las evaluaciones se realizaron inmediatamente después de la cosecha, en terreno, dentro de una sala acondicionada y fresca.

Los análisis químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bioactivos en plantas e Ingredientes Vegetales (BIOINVE) de la Facultad de Agronomía de la Universidad

de Concepción, campus Concepción. Las muestras fueron transportadas en un cooler portátil con acumuladores de frío, con el fin de mantener la cadena de frío hasta su llegada al laboratorio.

**Medición de diámetro ecuatorial y peso por fruto.** Se midió el diámetro ecuatorial como polar con un pie de metro digital VWR® Digital Calipers, mientras que el peso se midió con una balanza electrónica de bolsillo.

Se hizo un muestreo aleatorio de 10 frutos por repetición y se calculó la media de los datos obtenidos.

**Firmeza de frutos.** Se utilizó un durómetro para fruta 53505/FO de BAXLO Precisión (Barcelona, España), el cual mide de forma no destructiva la dureza del fruto en unidades shore, en un rango de 1 a 100.

Se hizo un muestreo aleatorio de 10 frutos por repetición y se calculó la media de los datos obtenidos.

**Medición de sólidos solubles.** Se determinaron los grados Brix (°Brix) en frutos de arándano triturados utilizando un refractómetro óptico 0 – 32 % con compensación de temperatura automática.

Se hizo un muestreo aleatorio de 10 frutos por repetición y se calculó la media de los datos obtenidos.

**Propiedades Químicas.** Se trituraron frutos de arándano de cada repetición con ultra-turrax®, que fueron utilizados en las siguientes mediciones:

**Medición de pH.** Se utilizó el instrumento Marca INOLAB SERIE PH7110.

**Medición de acidez.** Se diluyó 10 g de triturado de la muestra en 100 mL de agua destilada y se mezcló con un agitador magnético. Luego se tituló en una bureta con solución de NaOH 0,1 M hasta llegar a pH 8. Se utilizó como indicador el volumen total de NaOH 0,1 M gastado en la titulación.

**Extracción y determinación de antioxidantes.** La extracción de antioxidantes se realizó utilizando 0,5 g de triturado de la muestra de cada repetición y se trató con 5 mL de metanol/agua/ácido fórmico (25:24:1/v:v:v). Se agitó la mezcla con vortex y se dispuso en un ultrasonido marca BRANSON 5800 durante 1 h, luego se dejó reposar a 4 °C durante 24 h. Al siguiente día se utilizó nuevamente el ultrasonido

durante 1 h para posteriormente centrifugar (centrifuga marca L-535R) a 3.500 rpm durante 5 min. Finalmente se conservó el sobrenadante de cada repetición, con el que se trabajó en los análisis descritos a continuación.

**Determinación de polifenoles totales.** Se utilizó el ensayo de Folin Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965). Para ello se confeccionó una curva de calibración de ácido gálico como estándar. Posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 765 nm a través de un lector de microplaca 800TSI, para esto, se agregó a cada vial 25  $\mu$ L de reactivo de Folin Ciocalteu 0,5 N, 25  $\mu$ L de la muestra y 200  $\mu$ L de agua. Luego de incubar 5 minutos a 25 °C en oscuridad, se agregó 25  $\mu$ L de disolución de carbonato de sodio al 10 % para luego dejar reposar por 1 h en oscuridad. Se preparó un blanco con 25  $\mu$ L de reactivo, 225  $\mu$ L de agua y 25  $\mu$ L de carbonato de sodio. Finalmente, el cálculo de la actividad antioxidante se realizó con la siguiente formula:

$$\frac{mg}{L} * F \text{ dilución} * \frac{1L * Vol \text{ extracto } mL * 100}{1000mL * Peso \text{ muestra } g}$$

El contenido de polifenoles se expresó como mg equivalente ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> de peso fresco.

**Capacidad antioxidante DPPH.** Se utilizo el método de determinación de la capacidad antioxidante usando 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo o DPPH (Guija-Poma et al., 2015).

Para la preparación de curva de calibración, se preparó una solución patrón, disolviendo 0.0125 g de trolox en 50 mL de metanol al 80 % (v/v).

Se relacionó la concentración de  $\mu$ mol trolox/g de muestra con la actividad antioxidante, la cual se calculó con la siguiente formula:

$$\frac{mg}{L} * F \text{ dilución} * \frac{1L * Vol \text{ extracto } mL}{1000mL * Peso \text{ muestra } g}$$

### **Análisis estadístico**

Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  error estándar ( $\pm$  ES) de los valores obtenidos para cada tratamiento. El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA), realizando la prueba de diferencia mínima significativa (LSD Fisher), considerando diferencias estadísticamente significativas cuando el valor de

$p \leq 0,05$ . Por medio del software InfoStat versión 2020 (Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos obtenidos para el tratamiento con melatonina se presentan como MT, mientras que los controles se representan como C1 y C2 para los controles con Tween y agua, respectivamente. Los dos escenarios en los cuales se aplicó melatonina de forma exógena son representados como pre y post, para las aplicaciones en etapa de precosecha (en planta) y postcosecha (en clamshell), respectivamente.

En los datos correspondientes al día de la cosecha (D0), se comprueban los efectos del tratamiento con melatonina sobre la calidad de los frutos en el momento de la cosecha, tal como se presenta en las Tablas 1 y 2. No se realizaron mediciones para el tratamiento en postcosecha, ya que la aplicación de melatonina para este tratamiento se lleva a cabo precisamente en ese momento, por lo que no se esperan variaciones en los resultados obtenidos.

Tabla 1. Parámetros físicos a D0 (día de cosecha).

T	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Firmeza (Shore)	°Brix
C1Pre	1,65 ±0,05 b	14,4 ±0,13 b	73,0 ±0,70 b	0,16 ±0,0034 a
C2Pre	1,95 ±0,05 a	15,1 ±0,13 a	67,0 ±0,70 c	0,16 ±0,0034 a
MTPre	1,97 ±0,03 a	15,3 ±0,09 a	77,0 ±0,50 a	0,16 ±0,0024 a

C1Pre es control con surfactante en precosecha; C2Pre es control con agua en precosecha; MTPre es tratamiento con melatonina en precosecha. Distintas letras significan diferencias estadísticamente significativas a  $p \leq 0,05$  bajo la prueba LSD Fisher.

Se destaca la mayor firmeza de los frutos tratados con melatonina por sobre los controles. También se observó un efecto negativo en cuanto al peso y diámetro en el control con surfactante.

La mayor firmeza observada en frutos tratados con melatonina concuerda con los resultados reportados por (Carrión-Antolí, Lorente-Mento, et al., 2022), quienes demostraron que aplicaciones foliares de melatonina en cerezas aumentaron la firmeza del fruto. Este efecto podría estar relacionado con la regulación de enzimas

que degradan la pared celular, como las poligalacturonasas y celulasas. La capacidad antioxidante de la melatonina también puede reducir el estrés oxidativo en tejidos del fruto, ayudando a conservar su integridad estructural, como menciona (Reiter et al., 2001).

Tabla 2. Parámetros químicos a D0 (día de cosecha).

T	pH	Acidez titulable (ml NaOH)	Polifenoles totales Folin ciocalteu (mg ác. Gálico/100g muestra)	Capacidad antioxidante DPPH (umol trolox/g muestra)
C1Pre	3,59 ±0,05 b	5,80 ±0,47 a	129 ±11,86 b	7,36 ±1,86 b
C2Pre	3,57 ±0,05 b	4,84 ±0,47 a	135 ±11,86 b	10,6 ±1,44 b
MTPre	3,72 ±0,03 a	4,63 ±0,34 a	183 ±8,39 a	16,2 ±1,04 a

C1Pre es control con surfactante en precosecha; C2Pre es control con agua en precosecha; MTPre es tratamiento con melatonina en precosecha. Distintas letras significan diferencias estadísticamente significativas a  $p \leq 0,05$  bajo la prueba LSD Fisher.

En los análisis de parámetros químicos realizados al momento de la cosecha, se observaron diferencias significativas en la síntesis de compuestos fenólicos de los frutos. Estas variaciones se evidencian en los niveles de concentración de polifenoles totales Folin ciocalteu y en la capacidad antioxidante DPPH.

El aumento significativo en la concentración de polifenoles totales y la capacidad antioxidante en frutos tratados con melatonina coincide con lo reportado por (Medina-Santamarina, Zapata, et al., 2021), quienes documentaron un incremento de estos compuestos en frutos de damasco tratados en precosecha. En el estudio, este efecto se atribuye a la activación de rutas biosintéticas de compuestos fenólicos por acción de la melatonina como elicitador exógeno. (Arnao & Hernández-Ruiz, 2015) también destacaron que la melatonina puede modular la expresión génica relacionada con la síntesis de metabolitos secundarios, lo que explicaría la mejora en los valores antioxidantes observados en este estudio.

Con los datos obtenidos correspondientes a D50 (día 50 de almacenamiento en frío), se permite observar y comparar los efectos de los tratamientos con melatonina aplicados en los escenarios de precosecha versus postcosecha, según se muestra en las Tablas 3 y 4 a continuación.

Tabla 3. Parámetros físicos a D50 (pasados 50 días desde la cosecha)

T	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Firmeza (Shore)	°Brix
C1Pre	1,54 ±0,05 a	15,1 ±0,14 a	46,0 ±1,73 b	0,18 ±0,0035 a
C2Pre	1,51 ±0,05 a	14,7 ±0,14 b	53,0 ±1,73 a	0,18 ±0,0035 a
MTPre	1,57 ±0,03 a	15,2 ±0,10 a	53,0 ±1,23 a	0,17 ±0,0025 a
C1Post	1,48 ±0,09 a	14,8 ±0,26 a	49,0 ±3,17 a	0,17 ±0,0100 a
C2Post	1,55 ±0,09 a	15,3 ±0,26 a	46,0 ±3,17 a	0,18 ±0,0100 a
MTPost	1,53 ±0,08 a	15,3 ±0,23 a	55,0 ±4,24 a	0,18 ±0,0100 a

C1Pre es control con surfactante en precosecha; C2Pre es control con agua en precosecha; MTPre es tratamiento con melatonina en precosecha; C1Post es control con surfactante en postcosecha; C2Post es control con agua en postcosecha; MTPost es tratamiento con melatonina en postcosecha. Distintas letras significan diferencias estadísticamente significativas a  $p \leq 0,05$  bajo la prueba LSD Fisher.

En relación con los parámetros físicos evaluados en los frutos tras 50 días de almacenamiento en frío, se evidenció una diferencia notable, aunque no significativa en la firmeza de aquellos que recibieron tratamiento de melatonina en postcosecha, es decir, el tratamiento MTPost, en comparación con los controles correspondientes dentro del mismo escenario de aplicación.

Este resultado reafirma los hallazgos del estudio de (Qu et al., 2022), quienes señalaron que la melatonina exógena aplicada en postcosecha contribuye a mantener la firmeza del fruto de arándano por más tiempo durante almacenamiento prolongado, mediante la inhibición de la actividad enzimática que degrada la pared celular y a través de la reducción del estrés oxidativo. También es consistente con lo reportado por el estudio de (Badiche-El Hilali et al., 2023) en frutos de limón tratados en postcosecha con melatonina.

Como se mencionó anteriormente, los frutos tratados en postcosecha se extrajeron desde la cosecha del tratamiento control con sólo agua del grupo de precosecha, es decir, C2Pre, tratamiento el cual presentó la firmeza más baja en la medición de D0. Sin embargo, al D50, el grupo que fue tratado con melatonina en postcosecha (MTPost: 55 Shore) logró mantener una mejor firmeza que todos los demás tratamientos y controles, evidenciando la efectividad de la aplicación en esta etapa para retrasar la pérdida de calidad del fruto.

Tabla 4. Parámetros químicos a D50 (pasados 50 días desde la cosecha)

T	pH	Acidez titulable (ml NaOH)	Polifenoles totales Folin ciocalteu (mg ác. Gálico/100g muestra)	Capacidad antioxidante DPPH (umol trolox/g muestra)
C1Pre	3,95 ±0,03 ab	3,15 ±0,25 a	186,1 ±23,62 a	15,45 ±2,38 a
C2Pre	4,00 ±0,03 b	4,22 ±0,25 b	194,3 ±23,62 a	18,93 ±2,38 a
MTPre	3,87 ±0,02 a	3,23 ±0,18 ab	210,8 ±16,70 a	17,18 ±1,73 a
C1Post	4,07 ±0,06 bc	4,40 ±0,45 b	165,3 ±43,13 a	18,50 ±4,35 a
C2Post	4,16 ±0,06 c	3,17 ±0,45 ab	144,2 ±43,13 a	12,71 ±4,35 a
MTPost	4,17 ±0,05 c	3,60 ±0,39 ab	223,4 ±37,35 a	22,39 ±3,77 a

C1Pre es control con surfactante en precosecha; C2Pre es control con agua en precosecha; MTPre es tratamiento con melatonina en precosecha; C1Post es control con surfactante en postcosecha; C2Post es control con agua en postcosecha; MTPost es tratamiento con melatonina en postcosecha. Distintas letras significan diferencias estadísticamente significativas a  $p \leq 0,05$  bajo la prueba LSD Fisher.

En lo que respecta a los parámetros químicos analizados después de 50 días de almacenamiento en los frutos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas. No obstante, se mantiene la misma tendencia superior en la concentración de compuestos fenólicos y en la capacidad antioxidante cuando se trata de los tratamientos con melatonina, similar al comportamiento registrado en las evaluaciones realizadas al día 0.

Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los frutos tratados con melatonina mostraron valores superiores de polifenoles totales y capacidad antioxidante, lo que sugiere un efecto directo de la melatonina como elicitador de rutas biosintéticas relacionadas con estos compuestos. Según (Baenas et al., 2014), los elicitores como la melatonina pueden activar respuestas metabólicas inmediatas que incrementan la producción de fitoquímicos funcionales, entre ellos los compuestos fenólicos. Este efecto ha sido respaldado por estudios como el de (Carrión-Antolí, Martínez-Romero, et al., 2022), donde aplicaciones exógenas de melatonina aumentaron la síntesis de metabolitos secundarios en cerezos, mejorando así el perfil antioxidante del fruto. En este contexto, el aumento observado en los frutos tratados, aunque no significativo, es consistente con la

literatura que describe la capacidad de la melatonina para inducir directamente la acumulación de compuestos bioactivos en tejidos vegetales en respuesta a su aplicación externa.

El estudio de (Shang et al., 2021), donde también se logró elevar la concentración de compuestos fenólicos y mejorar la capacidad antioxidante en frutos de arándano, sugiere que la melatonina no solo actúa como un compuesto antioxidante directo, sino también como un modulador de las vías de defensa oxidativa en los frutos. Así, se refuerza el potencial del uso de melatonina como herramienta biotecnológica para mejorar la calidad funcional de los arándanos.

Si bien los efectos positivos fueron evidentes en ambos escenarios de aplicación, la aplicación en precosecha se perfila como más conveniente comercialmente, tal como lo mencionan (Medina-Santamarina, Serrano, et al., 2021), quienes concluyeron que las aplicaciones foliares permiten mejorar la calidad sin necesidad de intervenciones postcosecha adicionales. Además, este enfoque se alinea con las tendencias de consumo hacia productos mínimamente manipulados, como menciona (Saavedra et al., 2016), lo que mejora la comerciabilidad del producto y por ende puede representar una ventaja competitiva para mercados exigentes.

## **CONCLUSIONES**

Después de los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que:

1. En términos de parámetros físicos, se observó una mayor firmeza al día 0 en los frutos tratados con melatonina en comparación con los controles, después de 50 días de almacenamiento, se mantuvo esta tendencia de forma marginal.
2. Los análisis químicos revelaron diferencias significativas en la síntesis de compuestos fenólicos, reflejadas en un mayor contenido de polifenoles totales y una mayor capacidad antioxidante DPPH en los frutos tratados con melatonina al día 0. Aunque tras el almacenamiento de 50 días no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en estos compuestos, se mantuvo una tendencia al alza en los tratamientos con melatonina con respecto a los controles.

3. En relación con la comparación entre los dos escenarios de aplicación exógena de melatonina evaluados en este experimento, se observó que ambos escenarios de aplicación tienen efectos similares a largo. No obstante, considerando las exigencias del mercado actual, que tienden a favorecer productos con una menor manipulación en la etapa postcosecha, la aplicación en precosecha, es decir, directamente en la planta, se presenta como la alternativa más conveniente a utilizar. Esta modalidad permite obtener frutos de alta calidad sin la necesidad de intervenciones adicionales tras la cosecha, lo que puede traducirse en ventajas tanto económicas como operativas dentro del sistema productivo.
4. La aplicación de melatonina de forma exógena tanto en el escenario de precosecha como en postcosecha tienen un efecto positivo sobre la calidad de los frutos, tanto al momento de la cosecha como después de un periodo prolongado de almacenamiento en frío, como ocurriría con los frutos de exportación. Estos hallazgos sugieren que la melatonina puede ser una herramienta efectiva para mejorar y preservar la calidad fisicoquímica de los frutos, contribuyendo potencialmente a una mayor vida útil y valor nutricional.

## REFERENCIAS

- Agrometeorología* | INIA. (2023). Datos estación meteorológica La Colonia, Laja. <https://agrometeorologia.cl/>
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2014). Melatonin: Plant growth regulator and/or biostimulator during stress? *Trends in Plant Science*, *19*(12), 789–797. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2014.07.006/ASSET/D84316A9-7373-4E5B-BC81-41D5A9A3EA8B/MAIN.ASSETS/GR1.JPG>
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2015). Functions of melatonin in plants: a review. *Journal of Pineal Research*, *59*(2), 133–150. <https://doi.org/10.1111/jpi.12253>
- Badiche-El Hilali, F., Valverde, J. M., García-Pastor, M. E., Serrano, M., Castillo, S., & Valero, D. (2023). Melatonin Postharvest Treatment in Leafy ‘Fino’ Lemon Maintains Quality and Bioactive Compounds. *Foods*, *12*(15). <https://doi.org/10.3390/foods12152979>
- Baenas, N., García-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2014). Elicitation: A Tool for Enriching the Bioactive Composition of Foods. *Molecules* *2014*, Vol. *19*, Pages *13541-13563*, *19*(9), 13541–13563. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES190913541>
- Battistoni Benjamín, PINTO JULIA, & ESCALONA VÍCTOR. (2020). POTENCIAL DE CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DE NUEVAS VARIEDADES DE ARÁNDANO PARA LA INDUSTRIA CHILENA. *redagráfica*.
- Bhardwaj, R., Pareek, S., Domínguez-Avila, J. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Valero, D., & Serrano, M. (2022). An Exogenous Pre-Storage Melatonin Alleviates Chilling Injury in Some Mango Fruit Cultivars, by Acting on the Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidant System. *Antioxidants*, *11*(2). <https://doi.org/10.3390/antiox11020384>
- Carrión-Antolí, A., Lorente-Mento, J. M., Valverde, J. M., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2022). Effects of melatonin treatment on sweet cherry tree yield and fruit quality. *Agronomy*, *12*(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy12010003>
- Carrión-Antolí, A., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Zapata, P. J., Serrano, M., & Valero, D. (2022). Melatonin Pre-harvest Treatments Leads to Maintenance of Sweet Cherry Quality During Storage by Increasing Antioxidant Systems. *Frontiers in Plant Science*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.863467>
- Chen, Q., Qi, W. bo, Reiter, R. J., Wei, W., & Wang, B. min. (2009). Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of Brassica juncea. *Journal of Plant Physiology*, *166*(3), 324–328. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2008.06.002>
- Cortés-Montaña, D., Velardo-Micharet, B., Becerra-Gutiérrez, V., León-Flores, I. A., Bernalte-García, M. J., & Serradilla, M. J. (2022). *Mejora de la firmeza de cerezas mediante pulverización foliar con melatonina*. [www.univsantana.com](http://www.univsantana.com)


- Gamez, M. E. (2002). Arándanos - ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/arandanos>
- González, A., Riquelme, J., & Morales, C. G. (2017). *Manual de manejo agronómico del arándano*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31529>
- González, A. (2020). *Melatonina y su importancia en plantas*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20682>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-558X2015000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2015000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Itoh, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T., & Reiter, R. J. (1995). Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. *Biochemistry and Molecular Biology International*, 35(3), 627–634. <https://europepmc.org/article/med/7773197>
- Kitinoja, L., Saran, S., Roy, S. K., & Kader, A. A. (2011). Postharvest technology for developing countries: Challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 597–603. <https://doi.org/10.1002/JSFA.4295>
- Lerner, A. B., Case, J. D., Takahashi, Y., Lee, T. H., & Mori, W. (1958). ISOLATION OF MELATONIN, THE PINEAL GLAND FACTOR THAT LIGHTENS MELANOCYTES. *Journal of the American Chemical Society*, 80(10), 2587–2587. <https://doi.org/10.1021/JA01543A060>
- Marina, L., Manuel, J., Fabio, C., & Darío, A. (2019). *Desarrollo de productos de arándanos con propiedades antioxidantes y probióticas*.
- Medina-Santamarina, J. (2023). *Efecto del tratamiento precosecha y poscosecha con melatonina sobre la calidad de frutas y hortalizas*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050861>
- Medina-Santamarina, J., Guillén, F., Ilea, M. I. M., Ruiz-Aracil, M. C., Valero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2023). Melatonin Treatments Reduce Chilling Injury and Delay Ripening, Leading to Maintenance of Quality in Cherimoya Fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4). <https://doi.org/10.3390/ijms24043787>
- Medina-Santamarina, J., Serrano, M., Lorente-Mento, J. M., García-Pastor, M. E., Zapata, P. J., Valero, D., & Guillén, F. (2021). Melatonin treatment of pomegranate trees increases crop yield and quality parameters at harvest and during storage. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050861>

- Medina-Santamarina, J., Zapata, P. J., Valverde, J. M., Valero, D., Serrano, M., & Guillén, F. (2021). Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures. En *Agronomy* (Vol. 11, Número 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050917>
- Paula Valdés Quiñones. (2024). *Boletín de fruta, abril 2024*. [https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-abril-2024#:~:text=Los%20env%C3%ADos%20del%20grupo%20de%20productos%20ar%C3%A1ndanos%20durante%20el%20periodo,millones%20FOB%20\(%2B27%25\).](https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-abril-2024#:~:text=Los%20env%C3%ADos%20del%20grupo%20de%20productos%20ar%C3%A1ndanos%20durante%20el%20periodo,millones%20FOB%20(%2B27%25).)
- Pomar, D. (2016). *Propuesta de un proceso de obtención de zumo de arándano de alta calidad*. Universitat politecnica de Valencia.
- Qu, G., Ba, L., Wang, R., Li, J., Ma, C., Ji, N., & Cao, S. (2022). Effects of melatonin on blueberry fruit quality and cell wall metabolism during low temperature storage. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.40822>
- Raharivelomanana, P., Fanourakis, D., Hasanuzzaman, M., Lee, I.-J., Kazerooni, E. A., Park, H.-S., Kang, S.-M., & Al-Sadi, A. M. (2021). *Melatonin Enhances the Tolerance and Recovery Mechanisms in Brassica juncea (L.) Czern. Under Saline Conditions*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.593717>
- Reiter, R. J. (1991). Pineal Melatonin: Cell Biology of Its Synthesis and of Its Physiological Interactions. *Endocrine Reviews*, 12(2), 151–180. <https://doi.org/10.1210/EDRV-12-2-151>
- Reiter, R. J., Tan, D. X., Burkhardt, S., & Manchester, L. C. (2001). Melatonin in Plants. *Nutrition Reviews*, 59(9), 286–290. <https://doi.org/10.1111/J.1753-4887.2001.TB07018.X>
- Saavedra, G. M., Figueroa, N. E., Poblete, L. A., Cherian, S., & Figueroa, C. R. (2016). Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food Chemistry*, 190, 448–453. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.107>
- Shang, F., Liu, R., Wu, W., Han, Y., Fang, X., Chen, H., & Gao, H. (2021). Effects of melatonin on the components, quality and antioxidant activities of blueberry fruits. *LWT*, 147, 111582. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111582>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Undurraga, P., & Vargas, S. (2013). *Manual de Arándano (Boletín INIA N°263)*.
- Zong, Y., Kang, H., Fang, Q., Chen, X., Zhou, M., Ni, J., Zhang, Y., Wang, L., Zhu, Y., & Guo, W. (2019). Phylogenetic relationship and genetic background of

blueberry (*Vaccinium* spp.) based on retrotransposon-based SSAP molecular markers. *Scientia Horticulturae*, 247, 116–122. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.11.017>

## Anexo

1. Tabla condiciones estación meteorológica La Colonia periodo enero 2023 – enero 2024. (*Agrometeorología* | INIA, 2023)

www.agrometeorologia.cl Red Agrometeorológica de INIA Generado el 24-04-2025 02:42:07 La Colonia, Laja			
			
Tiempo UTC-4	T del Aire Mínima °C	T del Aire Máxima °C	PP Acumulada mm
Ene-2023	11,7	29,6	1,3
Feb-2023	12,1	30,5	0
Mar-2023	10,2	26,7	3,5
Abr-2023	8,1	21,4	64,5
May-2023	4,7	16,4	84,1
Jun-2023	5	14	154,2
Jul-2023	3,8	12,9	185,7
Ago-2023	4,3	14	163,8
Sep-2023	5,1	15,4	97,5
Oct-2023	5,3	19,5	33,6
Nov-2023	6,9	21,3	48,3
Dic-2023	9,9	26	3,6
Ene-2024	12,1	30,7	0

## 2. Análisis de suelo cuartel HA2-4 (Ochlockonee) año 2023

<b>Determinación</b>	<b>INJERTOS DUKE</b>	<b>OCHLOCKONEE</b>	<b>Categoría normal o nivel suficiencia</b>
pH	6,3	6,2	6,0-7,0
Mat. Orgánica (%)	5,6	2,5	2,0-8,0
Cond. Eléctrica (ds/m) (ext. saturado)	0,17	0,23	<1,0
Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)	5	5	>10
Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg/kg)	8	6	>10
N disponible (mg/kg)	13	11	20-60
Fósforo disponible (cmol/kg)	46	26	20
Potasio inter. (cmol/kg)	0,83	0,69	0,30-0,45
Potasio disponible (mg/kg)	322	268	115-175
Calcio inter. (cmol/kg)	3,6	3,5	4,0-8,0
Magnesio inter. (cmol/kg)	2,7	2,6	0,6-1,5
Sodio inter. (cmol/kg)	0,6	0,3	<1,0
Suma de bases (cmol/kg)	7,2	6,9	5,0-10,0
Azufre disponible (cmol/kg)	0,24	0,2	16-30
Aluminio inter. (cmol/kg)	0,01	0,01	<0,15
CICE (cmol/kg)	7,2	6,9	>=5,0
Saturación de Al (%)	60	61	>=2,0
Saturación de K (%)	11,5	9,8	05-oct
Saturación de Ca (%)	50,1	50,5	65-75
Saturación de Mg (%)	37,6	37,6	oct-15
Relación Calcio/Magnesio	1,33	1,35	04-jun
Relación Potasio/Magnesio	0,31	0,26	0,3-0,6

Hierro (mg/kg)	1,1	47,4	>2,5
Manganeso (mg/kg)	3,6	5,9	>3,0
Zinc (mg/kg)	0,9	1,3	>1,0
Cobre (mg/kg)	0,6	0,5	>0,5
Boro (mg/kg)	0,3	1	0,6-1,5

Métodos analíticos utilizados: Las determinaciones anteriormente mencionadas fueron realizadas según: Sadwicz R., A. y otros. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Rev. 2006, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N°34, Santiago, Chile. 16p.