



ESCUELA DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS, ANIMALES Y AMBIENTALES
INGENIERÍA AGRONÓMICA

“Efecto de la aplicación de auxinas de síntesis sobre el incremento del calibre en frutos de ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.) cv. D'Agen en la región de O'Higgins”

NICOLÁS IGNACIO ROMERO FERNÁNDEZ

Profesora guía: KAREN FERNANDA MESA JULIANI
Profesora colaboradora: CATALINA JAVIERA PINTO PALACIOS

Tesina para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo

San Fernando, Chile
Noviembre, 2023

Agradecimientos

A mis profesoras guías, Karen Mesa y Catalina Pinto, por su dedicación y paciencia virtuosa frente a todas las dificultades emanadas de este camino. Gracias por compartir sus conocimientos con rigor y precisión durante esta memoria, pero, sobre todo, por contribuir de manera significativa en mi formación profesional.

Mi agradecimiento para con la Universidad de O'Higgins por haberme brindado la oportunidad de cumplir un sueño.

Al equipo de trabajo compuesto por Andrea Albornoz, Fabian Farias y mi compañero Juan Vásquez, que participaron de manera abnegada y me brindaron toda la colaboración posible en la realización de este proyecto.

A mi madre, Karen Fernández, por confiar sin dudar en este sueño compartido. Tú sabes que nuestro sendero fue pedregoso, pero juntos lo supimos superar, mamá. Hoy, con el corazón lleno de gratitud, doy gracias Dios por acompañarme en este momento tan especial para nuestras vidas.

A mi polola Karen Mattamala y a mi amigo Julio Arroyo, por su apoyo moral incondicional y colaboración durante la cosecha.

A mis amigos perrunos, León (Q.E.P.D.), Simón y Jimbo, por sus constantes muestras de cariño y apoyo durante largas noches de estudio y trabajo para realizar esta memoria.

Índice general

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
HIPÓTESIS	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
MARCO METODOLÓGICO	16
Localización del ensayo	16
Material vegetal	16
Diseño experimental y descripción de los tratamientos.....	17
Evaluaciones.....	18
Tamaño de árbol	18
Monitoreo de estados fenológicos y seguimiento del crecimiento de brotes en campo	19
Fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (fPARi).....	19
Determinación del crecimiento y maduración del fruto en campo de forma no destructiva	20
Determinación de crecimiento y maduración del fruto en laboratorio de forma no destructiva y destructiva.....	20
Evaluación de variables a cosecha.....	22
Análisis estadístico.....	23
RESULTADOS	25
Seguimiento de parámetros de crecimiento y madurez de frutos en campo	25

Parámetros de crecimiento y madurez de frutos evaluados en laboratorio	29
Tamaño de árbol	40
Carga frutal	41
Producción y eficiencia productiva.....	42
Distribución de calibres y valor de producción	44
DISCUSIÓN	47
Seguimiento de parámetros de crecimiento y madurez en campo	47
Parámetros de crecimiento y madurez de frutos evaluados en laboratorio	49
Tamaño de árbol	55
Carga frutal	56
Producción y eficiencia productiva.....	58
CONCLUSIÓN.....	60

Índice de tablas

Tabla 1. Presentación reguladores de crecimiento utilizados en el ensayo.	17
Tabla 2. Tratamientos de auxinas de síntesis para incremento de calibre de ciruelo europeo cv. D'Agen aplicados durante la temporada 2021–2022.....	18
Tabla 3. Calibres comerciales en ciruela europea cv. D'Agen para formato en fresco de acuerdo con el diámetro ecuatorial del fruto.	23
Tabla 4. Parámetros de crecimiento (diámetros mejilla, sutura y polar) y maduración (I_{AD}) en ciruela europea cv. D'Agen, seguidos en campo, durante la temporada 2021–2022.....	25
Tabla 5. Parámetros de crecimiento en ciruela europeo cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.....	30
Tabla 6. Parámetros de color de piel y pulpa en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.....	32
Tabla 7. Parámetros de firmeza de fruto en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.....	35
Tabla 8. Parámetros de madurez de fruto en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.....	38
Tabla 9. Tamaño del árbol de ciruelo europeo D'Agen expresado en área de sección transversal del tronco (ASTT) y fracción interceptada de radiación fotosintéticamente activa ($fPAR$) evaluadas en cosecha.	41
Tabla 10. Carga frutal expresada en frutos por árbol, marco de plantación del huerto de ciruelo europeo cv. D'Agen o normalizada con relación a su cm^{-2} ASTT y m^{-2} $fPAR$	42
Tabla 11. Producción por árbol y eficiencia productiva de los diferentes tratamientos aplicados como ensayo.	42

Índice de figuras

Figura 1. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de mejilla (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.	26
Figura 2. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de sutura (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.	27
Figura 3. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de polar (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.	28
Figura 4. Efecto de tres auxinas de síntesis en la evolución I_{AD} de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.	29
Figura 5. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del crecimiento de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de a) peso de fruto (g), b) diámetro de mejilla (mm), c) diámetro de sutura (mm) y d) diámetro polar (mm), durante la temporada 2021–2022.	31
Figura 6. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del color de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de a) Cromaticidad piel (C^*), b) Tonalidad piel (h°), c) Cromaticidad pulpa (C^*) y e) Tonalidad pulpa (h°), durante la temporada 2021–2022.....	34
Figura 7. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del color de cubrimiento de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de su escala hedónica a cosecha, durante la temporada 2021–2022.....	35
Figura 8. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento de la firmeza de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de a) Firmeza no destructiva medida con FirmPro ($g\ mm^{-1}$), b) Firmeza no destructiva, medida con Durofel (uD), y c) Firmeza destructiva de pulpa (N), durante la temporada 2021–2022.....	37
Figura 9. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre comportamiento de la madurez de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen en función de a) CSS ($^\circ\text{Brix}$), b) AT ($g\ L^{-1}$), c) relación CSS/AT e d) I_{AD} , durante la temporada 2021–2022.....	39

Figura 10. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre la evolución del desarrollo de la copa de árboles de ciruelo europeo cv. D'Agen, evaluado como fPARi en función de los DDPF, durante la temporada 2021–2022.....	40
Figura 11. Eficiencia productiva ajustada a la covariable de carga frutal expresada en a) frutos m ⁻² , b) frutos m ⁻² fPARi y c) frutos cm ⁻² ASTT. Se utilizó el estadístico DGC ($\alpha=0,05$) para estimar las diferencias entre tratamientos.	44
Figura 12. Efecto de tres tratamientos de auxinas de síntesis sobre la distribución de categorías de calibres (%) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, cosechados durante la temporada 2021–2022.	45
Figura 13. Efecto de tres tratamientos de auxinas de síntesis sobre la distribución valor de producción (US\$ ha ⁻¹) respecto a las diferentes categorías de calibres exportables para ciruela europea cv. D'Agen, cosechados durante la temporada 2021–2022.	46

Resumen

Durante la temporada 2021–2022 en Graneros, Región de O'Higgins, se llevó a cabo un ensayo en árboles de ciruelo europeo cv. D'Agen, con 25 años de edad, injertados sobre un patrón Mariana 2624 y distribuidos a 5,2 m x 4,0 m. El objetivo fue determinar el impacto de tres auxinas de síntesis (2,4-DP, NAA y 3,5,6-TPA) sobre el aumento del calibre de ciruela europea cv. D'Agen. Se seleccionaron 24 árboles para la investigación, los cuales fueron asperjados con diferentes concentraciones de auxinas en distintos estados fenológicos durante la fase I de crecimiento del fruto: 2,4-DP (111 mg L⁻¹) en ramillete expuesto (BBCH 55); NAA (12,1 mg L⁻¹) en caída de chaqueta (BBCH 72), y brote 15 cm (BBCH 39); 3,5,6-TPA (20,1 mg L⁻¹) a inicios de endurecimiento de carozo (BBCH 75–76). Se monitorearon parámetros de crecimiento y maduración en campo, como el diámetro de mejilla, sutura y polar, así como el índice de absorbancia de clorofila (I_{AD}). Además, se realizaron evaluaciones de laboratorio, incluyendo el peso del fruto (g), color de piel y pulpa (C^* y h°), firmeza (N, g mm⁻¹, uD), concentración de sólidos solubles (CSS, °Brix), acidez titulable (AT, g L⁻¹) y la relación CSS/AT. También se realizaron mediciones de fracción fotosintéticamente activa interceptada ($fPAR_i$) durante la temporada. En la cosecha, se evaluó la producción total respecto a la carga frutal y eficiencia productiva. Mientras el tamaño del árbol se midió por el área de sección transversal del tronco (ASTT, cm²) y $fPAR_i$. Los resultados revelaron una interacción significativa entre los tratamientos y días después de plena flor (DDPF) en relación con todos los parámetros evaluados. Destacó el tratamiento 3,5,6-TPA, que mostró un notable incremento en dimensiones (mm) y peso (g). La carga frutal fue significativa para todos los tratamientos con auxinas, mientras que la eficiencia productiva resaltó en los tratamientos 3,5,6-TPA y NAA. También se evidenció efecto de las auxinas sobre el desarrollo de la copa ($fPAR_i$). La aplicación temprana de 3,5,6-TPA durante el inicio del endurecimiento del carozo resultó en un aumento significativo en el diámetro de mejilla, sutura, polar y peso del fruto en las ciruelas tratadas. Estos resultados sugieren que la aplicación controlada de auxinas, especialmente 3,5,6-TPA, puede ser una estrategia efectiva para mejorar el calibre de ciruelas europeas cv. D'Agen durante su desarrollo.

Palabras clave: 3,5,6-TPA, 2,4-DP, NAA, auxinas, crecimiento de fruto.

Abstract

During the 2021–2022 season in Graneros, O'Higgins Region, a trial was conducted on 25-year-old European plum trees cv. D'Agen, grafted onto Mariana 2624 rootstock and at a distance of 5.2 m x 4.0 m. The objective was to determine the effect of applying three synthetic auxins (2,4-DP, NAA, and 3,5,6-TPA) on the increase in caliper size of European plum cv. D'Agen. Twenty-four trees were selected for the study and were sprayed at with different phenological stages during the fruit growth phase I and distinct concentrations of auxins: 2,4-DP (111 mg L^{-1}) in a single flower with white petals (still closed) (BBCH 55); NAA (12.1 mg L^{-1}) at sepals beginning to fall (BBCH 72) and 15 cm bud (BBCH 39); 3,5,6-TPA (20.1 mg L^{-1}) at the beginning of pit hardening (BBCH 75–76). Field growth and ripening parameters, such equatorial, suture, polar diameter (mm), and chlorophyll absorbance index (I_{AD}), were monitored. Laboratory evaluations included fruit weight (g), skin and pulp color (C^* and h°), firmness (N, g mm^{-1} , uD), soluble solids concentration (SSC, °Brix), total acidity (TA, g L^{-1}), and the SSC/TA ratio. Measurements of photosynthetically active radiation intercepted ($fPARi$) were also taken during the season. At harvest, total production concerning fruit load and productive efficiency were assessed. The tree size was measured by trunk cross-sectional area (ASTT, cm^2) and $fPARi$. Results revealed a significant interaction between treatments and days after full bloom (DAFB) for all evaluated parameters. The 3,5,6-TPA treatment stood out, showing a notable increase in dimensions (mm) and weight (g). Fruit load was significant for all auxin treatments, while the productive efficiency was higher in the 3,5,6-TPA and NAA treatments. Auxin effects on canopy development ($fPARi$) were also evident. Applying of 3,5,6-TPA at the beginning of pit hardening generated a better response, evidenced by a significant increase in equatorial, suture, polar diameter, and fruit weight in treated plums. These results suggest that controlled auxin application, especially 3,5,6-TPA, can effectively to enhance the caliper size of European plums cv. D'Agen during their development.

Keywords: 3,5,6-TPA, 2,4-DP, NAA, auxins, fruit growth.

Introducción

Chile cuenta con una superficie de 12.450,72 ha en producción de ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.) casi en su totalidad pertenecientes al cv. D'Agen, donde aproximadamente el 68% de las hectáreas se encuentran en la región de O'Higgins (8.602,38 ha) (CIREN-ODEPA, 2021). La producción de ciruela europea en la región de O'Higgins es de 141.251,6 t (CIREN-ODEPA, 2021). La región Metropolitana sigue a la región de O'Higgins con una producción inferior de 32.445,21 t (CIREN-ODEPA, 2020). Estas cifras dan cuenta del potencial productivo que posee la zona, representando el ciruelo europeo el tercer frutal de mayor importancia económica en la región, superado por vid de mesa (*Vitis vinifera* L.) (12.736,14 ha) y cerezo (*Prunus avium* L.) (22.966,09 ha), y situándolo en un lugar privilegiado para asegurar su abastecimiento hacia actuales y nuevos mercados internacionales (CIREN-ODEPA, 2021).

El destino de producción de la ciruela europea se ha modificado los últimos años, abriendo nuevas oportunidades para trabajar la producción con destino a la exportación en fresco del cv. D'Agen hacia el mercado asiático. La población de China se caracteriza por ser grandes consumidores de frutas frescas, y Chile ofrece diversos productos de interés comercial, como cerezas y las ciruelas. Es así, que el cv. D'Agen ha tenido aceptabilidad en este mercado, por su color de fondo, firmeza, alto contenido de azúcares (18 °Brix) y relación concentración sólidos solubles/acidez (Portal Frutícola, 2019). De acuerdo con las cifras de exportaciones chilenas de ciruelas cv. D'Agen para fresco con destino a China, este paso de 4.826 t en la temporada 2016/17 a 46.125 t en la temporada 2018/19, aumentando más de 9 veces el volumen exportado (Portal Frutícola, 2019; iQonsulting, 2023). Sin embargo, el precio disminuyó de US\$1,5 kg⁻¹ a US\$0,5 kg⁻¹ entre las mismas temporadas, debido principalmente a problemas de madurez y calidad de frutos (altos volúmenes de calibres pequeños, frutos inmaduros, de bajo color y bajos sólidos solubles) (Portal Frutícola, 2019).

Las variables firmeza de la pulpa, el color de cubrimiento de la piel, concentración sólidos soluble (CSS) y la acidez titulable (AT) se consideran índices de madurez para ciruela (Abdi *et al.*, 1997; Crisosto & Valero, 2006; Prasanna *et al.*, 2007; Nunes *et al.*, 2009). A su vez, también están

relacionados con la calidad de la fruta, donde el color de fondo, grados Brix y el tamaño del fruto a cosecha es lo que finalmente establece el rendimiento fresco, rendimiento en kilos y el calibre final (categorías) (Chile Prunes Association & Fedefruta, 2012). Según Razeto (2006), el tamaño de la fruta afecta su calidad cuando es menor, debido a que presentan menor sabor y una menor proporción de pulpa con relación al carozo. Por otro lado, el calibre que está determinado por el diámetro ecuatorial (Retamal, 2003), juega un papel preponderante en función de la oferta y demanda de la fruta, dado que cuando el mercado tiende a saturación, el estándar de calibre se complejiza, elevando el mínimo del calibre y rechazando frutos de tamaños pequeños o medianos que no se ajustan a dicho estándar (Razeto, 2006). En este sentido, actualmente la producción de ciruela europea tiene una distribución de calibres muy heterogénea, siendo uno de los principales problemas limitantes para el productor cuando trata de exportar su fruta. Frente a esta realidad una de las formas para mantenerse en el negocio pasa por orientar el manejo a obtener frutos más grandes con una distribución de calibres homogénea, sin sacrificar el rendimiento (kg ha^{-1}) y la calidad para generar mejores retornos al productor. Entre las prácticas alternativas propuestas para cumplir este logro, está el uso de reguladores de crecimiento (Sotomayor, 2018).

En la producción frutícola, el uso de las auxinas sintéticas ha demostrado ser de gran eficacia para aumentar el tamaño y calibre (Agustí & Almela, 1991). Las auxinas más comunes para este objetivo corresponden al ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), ácido 2,4-diclorofenoxipropionico (2,4-DP), ácido naftaleno acético (NAA) y ácido 3,5,6-tricloro-piridiloxiacético (3,5,6-TPA). Dichos compuestos han mostrado un efecto significativo en el aumento de calibre final en naranjo (*Citrus cinesis* (L.) Osbeck) (Yildirim *et al.*, 2012), damasco (*Prunus armeniaca* L.) (Stern *et al.*, 2007a) y en cerezo (*Prunus avium* L.) (Stern *et al.*, 2007b). No obstante, los resultados de estos compuestos pueden ser variables pues dependen de las condiciones climáticas (Stover & Greene, 2005), la especie, localidad (Agustí & Almela, 1991), estado fenológico y la concentración en que se apliquen (Luckwill, 1994). Sumado a esto, el modo de acción para lograr el aumento de calibre no es el mismo entre compuestos, dependiendo del tipo de auxina sintética empleada, así, su efecto puede ser aumentar la fuerza como sumidero

de fruto (directo) o eliminar frutos en desarrollo (indirecto) (Guardiola, 1995). Tanto el 2,4-D y 2,4-DP aumentan el calibre final del fruto generando una mayor atracción de hidratos de carbono hacia el sumidero, sin causar un efecto de raleo (Guardiola, 1995; Fichet, 2019). Mientras NAA y 3,5,6-TPA incrementan el tamaño de los frutos debido al efecto de raleo, lo que, a su vez, mejora la redistribución de carbohidratos favoreciendo el crecimiento de frutos que no fueron raleados (Fichet, 2019).

En frutales de hoja persistente, particularmente cítricos se ha observado buenos resultados con tratamientos de 2,4-D y 2,4-DP, cuando se aplican con una baja o mediana carga de floración y en post cuaja. Por ejemplo, en naranjo cv. Valencia se demostró que hubo un aumento significativo del peso y diámetro ecuatorial cuando se aplicó un tratamiento de 150 mg L⁻¹ de 2,4-DP durante la caída fisiológica del fruto (octava semana después de la plena floración, diámetro del fruto de 13 a 15 mm) (Yildirim *et al.*, 2012). Por otro lado, en especies caducifolias, Fichet (2019) recomienda realizar las aplicaciones de auxinas sintéticas cuando existan hojas adultas, dado que, para cumplir el efecto de aumento de calibre debe estar asegurado el suministro de fotoasimilados al sumidero, pues, cuando hay hojas o brotes jóvenes se observan competencia entre estos órganos con frutos por los suministros. En damasco cv. Canino, tratamientos de 2,4-DP y 3,5,6-TPA han demostrado buenos resultados en cuanto al crecimiento de fruto y aumento de calibre, cuando se aplican durante el endurecimiento del carozo (entre etapa I y II de crecimiento de fruto) (Stern *et al.*, 2007a). Efecto similar, fue observado en cerezas cv. Bing cuando se aplicaron 50 mg L⁻¹ de 2,4-DP, 10 mg L⁻¹ de 3,5,6-TPA y 25 mg L⁻¹ de 2,4-D durante el endurecimiento de carozo (Stern *et al.*, 2007b). Otro estudio, en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) cv. Songold, obtuvo mejoras significativas de la distribución de calibres medianos (50 – 55 mm) y grandes (mayores 55 mm) cuando se aplicaron 15 mg L⁻¹ 3,5,6-TPA durante endurecimiento de carozo (Stern *et al.*, 2007c).

Por otra parte, también aplicaciones de auxinas sintéticas en ciertos estados fenológicos del árbol han logrado demostrar efectos positivos sobre otros componentes de la calidad. Por ejemplo, en ciruelo japonés cv. Songold, se usaron tratamientos de 15 mg L⁻¹ de 3,5,6-TPA y 25 mg L⁻¹ de 2,4-DP, durante el comienzo de endurecimiento del carozo (30 a 40 días después de

plena floración), los cuales aceleraron la tasa de maduración de la fruta, de acuerdo con el cambio en el color de fondo de la piel y la firmeza de la fruta. Después de 7 días de la primera cosecha, se observó la misma tendencia en relación con el color y la firmeza de la piel, pero, además, el cambio en el color de la pulpa se vio aumentado por los tratamientos con auxinas (Stern *et al.*, 2007c). A su vez, en naranjo cv. Valencia aplicaciones de 2,4-DP 60 días post anthesis, demostraron que la concentración sólidos solubles (CSS) aumentó con tratamientos de 50 mg L⁻¹ de 2,4-DP. La relación CSS/acidez se incrementó en tratamientos de 50 mg L⁻¹ 2,4-DP y control, mientras que, el porcentaje de acidez total fue mayor cuando se aplicó al árbol un tratamiento de 150 mg L⁻¹ (Yildirim *et al.*, 2012).

De acuerdo con los antecedentes entregados anteriormente esta investigación propone determinar del efecto de la aplicación de tres tratamientos de auxinas de síntesis en diferentes concentraciones, aplicados en diferentes estados fenológicos del ciruelo europeo cv. D'Agén sobre el incremento de calibre, dada la importancia que tiene este parámetro de calidad en la aceptación de las exportaciones en el mercado de destino y retorno de producción para productores de la región de O'Higgins.

Hipótesis

- La aplicación de ácido naftalenoacético (NAA) y ácido 3,5,6-tricloro-piridiloxiacético (3,5,6-TPA) en etapas fenológicas tardías de brote 15 cm e inicios de endurecimiento de carozo, tiene una mejor respuesta en el incremento de calibre de ciruela europea cv. D'Agen, respecto a las aplicaciones tempranas en ramillete expuesto y caída de chaqueta.

Objetivo general

- Determinar el efecto de la aplicación de ácido NAA, 2,4-DP, y 3,5,6-TPA como auxinas de síntesis sobre el incremento de calibre en ciruela europea cv. D'Agen.

Objetivos específicos

- Objetivo 1: evaluar el comportamiento del crecimiento y maduración de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen bajo la aplicación de tres auxinas síntesis: NAA, 2,4-DP, y 3,5,6-TPA en diferentes estados fenológicos durante la fase I de crecimiento de fruto.
- Objetivo 2: determinar el efecto de las aplicaciones NAA, 2,4-DP, y 3,5,6-TPA sobre la eficiencia productiva y distribución de calibre para los diferentes tratamientos.

Marco metodológico

Localización del ensayo

La investigación se llevó a cabo durante la temporada 2021–2022, en un huerto comercial de ciruelo europeo perteneciente a la empresa FRUSAN S.A, ubicado en la localidad de Graneros, provincia de Cachapoal, región de O'Higgins (34°05'46.7"S 70°43'22.4"W). La determinación de parámetros de crecimiento y maduración de frutos de manera no destructiva se realizaron en campo, y de manera paralela se llevaron a cabo mediciones destructivas y no destructivas de calidad de fruta en dependencias del Laboratorio de Fisiología Vegetal, Campus Colchagua de la Universidad de O'Higgins. Además, evaluaciones de interceptación de radiación solar y determinación de parámetros productivos a cosecha fueron realizadas directamente en campo.

Material vegetal

El huerto de ciruelo europeo cv. D'Agen contaba con árboles de 25 años de edad, bajo un sistema de conducción en copa. La variedad se encontraba sobre portainjerto Marianna 2624, dispuesto en un marco de plantación de 5,2 m distancia entre hilera (DEH) x 4,0 m distancia sobre hilera (DSH), equivalente a 480 árboles*ha. El suelo presentaba una textura moderadamente fina; una fase de drenaje restringido y una fase por microrrelieve. El suministro de agua durante la temporada en producción se realizó mediante un sistema de riego por goteo. La pluviometría durante los meses de abril, mayo y junio en la zona donde se ubica el huerto fue de 131–213 mm, considerada bajo lo normal (Vicencio, 2021).

A continuación, se presenta en el Tabla 1, los tres reguladores de crecimiento comerciales de origen auxínico, seleccionados y utilizados en el ensayo.

Tabla 1. Presentación reguladores de crecimiento utilizados en el ensayo.

Compuesto orgánico	Nombre del producto comercial	Empresa proveedora
2,4-DP (2,4-DP-diclorofenoxipropionico)	Stone Gross Plus®	Nufarm S.A.S
NAA (Ácido-1-naftalenacético)	NAA-800®	BASF S.A
3,5,6-TPA (3,5,6-Tricloro-2-piridiloxiacetico)	Maxim®	Arysta Life Science

Fuente: Elaboración propia.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos

El ensayo consistió en un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro tratamientos incluyendo un testigo sin aplicación (T0) y seis árboles como repetición para cada uno de los tratamientos. Los tratamientos se describen en la Tabla 2. Los veinte y cuatro árboles fueron seleccionados durante el receso invernal de acuerdo con su uniformidad en vigor (según medición del área sección transversal del tronco – ASTT, cm²). Los tratamientos consistieron en la aplicación de 3 compuestos diferentes de auxinas sintéticas (reguladores de crecimiento) en ciruelo europeo, asperjadas mediante una bomba de espalda, en distintas concentraciones y durante diferentes estados fenológicos, de acuerdo a la escala que propone Meier *et al.* (1994). La aplicación de los tratamientos con auxinas se llevó a cabo mediante un monitoreo en campo de los distintos estados fenológicos asociados a cada tratamiento.

El tratamiento uno (T1) de 2,4-DP, se aplicó a una concentración de 111 mg L⁻¹, en estado fenológico de ramillete expuesto, 6 días antes de plena flor (DAPF). Para el tratamiento dos (T2) de NAA, se aplicó una concentración 12,1 mg L⁻¹ en estado fenológico de caída de chaqueta a los 12 días después de plena flor (DDPF) y en brote 15 cm a los 22 DDPF. Mientras que, el tratamiento tres (T3), se aplicó 3,5,6-TPA a una concentración de 20,8 mg L⁻¹ en estado fenológico fin 2° caída de frutos-inicios de endurecimiento de carozo, es decir a los 39 DDPF.

Tabla 2. Tratamientos de auxinas de síntesis para incremento de calibre de ciruelo europeo cv. D'Agen aplicados durante la temporada 2021–2022.

Tratamiento	Etapa fenológica			
	“Ramillete expuesto” (BBCH 55)	“Caída de chaqueta” (BBCH 72)	Brote 15 cm (BBCH 39)	Fin 2° caída frutitos – endurecimiento carozo (BBCH 75–76)
T0: Testigo sin aplicación				
T1: 2,4-DP (Stone Gross®)	111 mg L ⁻¹			
T2: Ácido naftalenacetico		12,1 mg L ⁻¹	12,1 mg L ⁻¹	
T3: 3,5,6-TPA (Maxim®)				20,8 mg L ⁻¹

Fuente: Elaboración propia.

Evaluaciones

Tamaño de árbol

Se evaluó el Área Sección Transversal del Tronco (ASTT, cm²), a partir del perímetro de tronco que fue medido a 20 cm sobre el punto de unión patrón–injerto. Se realizó a inicios del ensayo para selección de plantas homogéneas. A cosecha, se midió nuevamente el perímetro del tronco con el objetivo de calcular la eficiencia productiva en función del ASTT (Gil, 2012).

El Área de sección Transversal del Tronco (cm²) se calculó como:

$$1) \quad \text{ASTT} = 0,0796 \times P^2$$

Donde,

P = Perímetro del tronco (cm)

Monitoreo de estados fenológicos y seguimiento del crecimiento de brotes en campo

Se monitorearon los estados fenológicos de los árboles en campo con una periodicidad de 2–3 días por semana desde septiembre hasta el cese del crecimiento de brotes, de acuerdo con la escala que propone Meier *et al.* (1994), para la correcta aplicación los tratamientos de auxinas de síntesis en la etapa fenológica correspondiente. Se realizaron mediciones del crecimiento de brotes (cm^2), la cual consistió en marcar 3 ápices terminales/apicales por árbol ($n = 4$ árboles) en la sección media. Las evaluaciones se hicieron cada 2–3 días desde inicio de brotación hasta el cese del crecimiento de los brotes, determinado a través de la tasa de crecimiento diaria.

Fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (*fPARi*)

La radiación fotosintéticamente activa (siglas PAR en inglés), fue medida con el equipo AccuPAR LP-80 (Decagon devices, USA). Las mediciones fueron realizadas durante la temporada de crecimiento, en forma mensual desde octubre a cosecha, en una franja horaria de 8:00 am a 16:00 pm. La medición fue realizada a mediodía solar, 2 y 4 horas antes o después del mediodía solar (MDS). El cálculo de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la cubierta vegetal (*PARi*) se determinó por la diferencia entre la radiación incidente (*PARo*) y la radiación no interceptada por el árbol (*PARn*) (2), medida bajo el follaje de los árboles a 20 centímetros del suelo (Rojas, 2011).

$$2) \quad \text{PARi} = \text{PARo} - \text{PARn},$$

y se expresó como la fracción de PAR interceptado.

$$3) \quad \text{fPARi} = \text{PARi} / \text{PARo},$$

Las mediciones fueron realizadas en ambos sectores de la hilera para abarcar toda la superficie del árbol, en forma perpendicular a la hilera, desde la mitad de la entre hilera hasta la

mitad de la siguiente que contiene el área del árbol, en total se hicieron 15 mediciones de *PAR_{ni}* por árbol, divididas de tres en tres. El *PAR_o* se midió dos veces por cada grupo de árboles (una por cada sector de la hilera) (Reginato *et al.*, 2015).

Determinación del crecimiento y maduración del fruto en campo de forma no destructiva

Una vez realizada la aplicación de los tratamientos de reguladores de crecimiento, se seleccionaron 32 frutos por tratamiento para realizar el seguimiento de parámetros de crecimiento y madurez. Las evaluaciones se realizaron de manera quincenal desde principios de noviembre hasta finales de diciembre, y en forma semanal un mes antes de cosecha. Éstas correspondieron a:

- a. Diámetro ecuatorial, sutura y polar (mm). Se realizó con un pie de metro digital.
- b. I_{AD} (Índice de Absorbancia de Clorofila). Evaluado con el equipo DA-meter (Sinteleia, Bologna, Italia) que registra de manera indirecta la concentración de clorofila en la piel del fruto (Lurie *et al.*, 2013) mediante la reflectancia de dos longitudes de onda (670 y 720 nm) de luz, cerca del peak de absorbancia de la clorofila-*a* (Costa *et al.*, 2016), y que, a su vez, esta correlacionado con la producción de etileno (Ziosi *et al.*, 2008). Este equipo realiza la medición I_{AD} en un rango de 0–3 (Costa *et al.*, 2016). La medición se realizó en ambas mejillas del fruto (Lurie *et al.*, 2013).

Determinación de crecimiento y maduración del fruto en laboratorio de forma no destructiva y destructiva

El seguimiento de la evolución de los parámetros de crecimiento y maduración de los frutos se realizó en forma paralela a las evaluaciones realizadas en campo de forma no destructiva. De esta manera, al mismo tiempo en que se realizaron la evaluación en planta, se recolectaron otros 32 frutos por tratamiento que fueron trasladados a las dependencias del

Laboratorio de Fisiología Vegetal, Campus Colchagua de la Universidad de O'Higgins, para la evaluación de parámetros no destructivos y destructivos. Dichas evaluaciones correspondieron a:

Parámetros No Destructivos

- a. Diámetro ecuatorial, sutura y polar (mm). Se realizó con un pie de metro digital.
- b. I_{AD} (Índice de Absorbancia de Clorofila). Evaluado con el equipo DA-meter® (Sinteleia, Bologna, Italia).
- c. Peso del fruto (g). Esta medición se realizó a cada uno de los frutos utilizando una balanza digital gramera de 5 kg x 0,1 g unidad (QUIMIS, Madrid, España).
- d. Color de piel. Se utilizó el equipo colorímetro modelo CR-400 (Minolta, Tokio, Japón), el cual usa el sistema CIELab para obtener tonalidad (h°) y saturación (C^*) (McGuire, 1992).
- e. Firmeza de la pulpa. Se llevó a cabo mediante evaluaciones realizadas con dos equipos. Se efectuó en la zona ecuatorial de los frutos de cada mejilla. Los equipos corresponden a:
 - i. FirmPro ($g\ mm^{-1}$). Equipo avanzado de medición de firmeza de frutas pequeñas (FirmPro, Santiago, Chile).
 - ii. Durofel (unidades Durofel). Se utilizó el equipo modelo Agrost® 100 Field (Agrosta, Serqueux, Francia).

Parámetros Destructivos

- a. Firmeza de pulpa (N). Esta medición se realizó en ambas mejillas sin piel, empleando un presionómetro de mano (FT-327, Effegi) con un émbolo de 7,9 mm de diámetro a una profundidad de penetración de 10 mm.
- b. Color de pulpa. Se utilizó el equipo colorímetro modelo CR-400 (Minolta, Tokio, Japón), el cual usa el sistema CIELab para obtener tonalidad (h°) y saturación (C^*) (McGuire, 1992).
- c. Concentración de Sólidos Solubles (CSS, °Brix). Se muestreo 1 ml de muestra, extraída de la pulpa de los frutos, usando un mortero de porcelana para facilitar el

triturado. La medición se realizó con un refractómetro digital portátil en muestras compuestas de 4 frutos, en orden correlativo. Sin embargo, la última muestra recolectada antes de cosecha se evaluó en frutos individuales.

d. Acidez total (AT, g L⁻¹). En un vaso de precipitado de 50 ml calibrado en una balanza digital, se diluyó 1 ml correspondiente a una muestra compuesta de jugo, extraída de un grupo de 4 frutos, y fue diluida en 49 ml de agua destilada. Posteriormente, se hizo la medición con un refractómetro digital portátil utilizando 1 ml de la muestra diluida.

e. Relación CSS/acidez total. El resultado se obtiene dividiendo los valores individuales de la CSS (°Brix) por valores individuales de acidez total (g L⁻¹).

Se establece que, tanto para la evaluación de CSS, AT y relación CSS/AT se utilizó un refractómetro digital portátil modelo PAL-BX/ACID11 (Atago, Tokio, Japón), exclusivo para ciruela.

Evaluación de variables a cosecha

A cosecha, para determinar la producción por planta y por tratamiento, se evaluaron:

- a. Peso total de frutos (kg) cosechados. Se pesaron en forma individual las cajas cosechadas por árbol.
- b. Conteo número total de frutos (N°). Se contó el total de frutos de tres cajas cosechadas por árbol, y se estimó el número de frutos de las cajas restantes cosechadas en proporción al peso.
- c. Distribución de calibre. Se evaluó el peso (g), diámetro ecuatorial (mm) y calibre de forma individual en 50 frutos por árbol, y por tratamiento (300 frutos total por tratamiento). El calibre en ciruela cv. D'Agén se determinó en función del diámetro ecuatorial (mm) y mediante un calibrador manual (Tabla 3).

- d. Se evaluó el color de cubrimiento de fruto en relación a su escala hedónica (< 25%, 25–50%, y >50%).

Tabla 3. Calibres comerciales en ciruela europea cv. D’Agen para formato en fresco de acuerdo con el diámetro ecuatorial del fruto.

Categoría	Diámetro ecuatorial del fruto
PC	< 27 mm
L	27–29,9 mm
XL	30 – 32,9 mm
J	33– 35,9 mm
2J	36– 38,9 mm
3J	> 39 mm

Fuente: Elaboración propia a partir de información de calibres respecto a la última temporada 2021–2022, entregada por exportadora FRUSAN S.A.

Análisis estadístico

Se incluyeron herramientas descriptivas mediante tablas y figuras para visualizar la evolución de crecimiento y maduración de la fruta evaluada en el seguimiento de campo y laboratorio.

Para el caso de los parámetros seguidos en campo (I_{AD} y diámetros (mm)), se realizaron ANDEVA en el marco de los modelos lineales mixtos, con la finalidad de contemplar las correlaciones entre las medidas repetidas en el tiempo y las varianzas heterocedásticas. Los tratamientos, DDPF y la interacción entre ellos se consideraron como efectos fijos, y los efectos del árbol y fruto como factores aleatorios.

Por otra parte, para cada una de las variables de madurez y crecimiento evaluadas en laboratorio durante precosecha, se utilizaron ANDEVA como factores fijos a los tratamientos, DDPF y la interacción entre ambos.

A cosecha se realizó una comparación de las medias de los cuatro tratamientos (tres compuestos auxínicos y el testigo) mediante ANDEVA para las variables de productividad y carga frutal, y un análisis de covarianza (ANCOVA). En el ANCOVA se consideró como covariables a la carga frutal y el tamaño del árbol medido como ASTT y *fPARi*.

Para determinar diferencias estadísticas se utilizó la prueba de comparación de medias Di Rienzo, Gonzalez y Casanoves (DGC, $\alpha = 0,05$).

Todos los análisis fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Resultados

Seguimiento de parámetros de crecimiento y madurez de frutos en campo

En la Tabla 4 se presenta un resumen con los resultados del análisis respecto a los parámetros diámetro de mejilla, diámetro sutura, diámetro polar e I_{AD} , mostrando un efecto significativo de los tratamientos y DDPF, además de su interacción.

Tabla 4. Parámetros de crecimiento (diámetros mejilla, sutura y polar) y maduración (I_{AD}) en ciruela europea cv. D'Agen, seguidos en campo, durante la temporada 2021–2022.

Fuente de variación	Diámetro mejilla	Diámetro sutura	Diámetro polar	I_{AD}
	(mm)	(mm)	(mm)	
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento*DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significancia	***	***	***	***

*, **, *** Indica que la prueba fue estadísticamente significativa con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente.

Durante el seguimiento de frutos en campo, se observó íntegramente la etapa III de crecimiento de fruto como parte del patrón de crecimiento doble sigmoidal característico del fruto del ciruelo europeo cv. D'Agen (Figuras 1, 2 y 3), representado por sus parámetros de diámetro de mejilla, diámetro de sutura y diámetro polar de frutos.

El diámetro de mejilla inició la temporada con una diferencia estadísticamente significativo ($p < 0,05$), mayor en 11,4% promedio para los frutos de tratamientos con auxinas de síntesis en comparación del testigo, que inició con un diámetro promedio de 17,96 mm (Figura 1). A cosecha, correspondiente a los 123 DDPF, el crecimiento de fruto demostró diferencias estadísticamente significativas, y mayores por efecto del tratamiento 3,5,6-TPA, con 32,24 mm en su diámetro de mejilla (Figura 1). La diferencia en diámetro de mejilla que se obtuvo a cosecha, entre el tratamiento 3,5,6-TPA respecto de la auxina 2,4-DP, es 5,1% en promedio a favor del tratamiento con la auxina 3,5,6-TPA, mientras la diferencia del mismo tratamiento en

comparación a los tratamientos NAA y testigo corresponde a 6,5% y 11,3%, respectivamente (Figura 1). Cabe destacar que solo los tratamientos con auxinas 3,5,6-TPA y 2,4-DP presentaron un efecto significativo en el aumento de diámetro de mejilla de fruto en comparación a los tratamientos NAA y testigo.

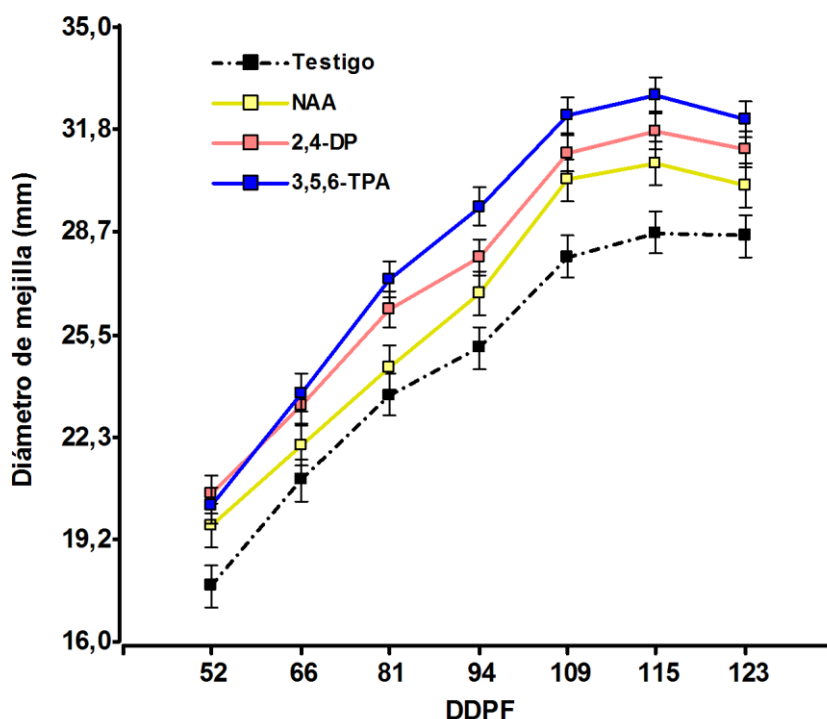


Figura 1. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de mejilla (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021-2022.

Por su parte, el diámetro de sutura mostró un comportamiento similar a lo observado al inicio de temporada en el diámetro de mejilla de frutos (Figura 1), donde a los 52 DDPF el crecimiento de frutos por efecto de los tratamientos con aplicación de auxinas obtuvo un promedio de 20,22 mm en su diámetro de sutura con diferencias estadísticamente significativas y mayores en 7,2% (1,53 mm) en comparación al tratamiento testigo (Figura 2). Posteriormente, se observa un incremento lineal en el diámetro que se prolonga hasta los 115 DDPF, momento en que el crecimiento presenta una leve disminución en los tratamientos con aplicación de auxinas, a excepción del tratamiento testigo, que se encuentra estable. A cosecha (123 DDPF), el

tratamiento 3,5,6-TPA alcanzó un diámetro de 30,87 mm en promedio, resultando en diferencias estadísticamente significativas, diferenciándose en 3,38% del tratamiento 2,4-DP, 8,59% del tratamiento NAA y 8,72% el tratamiento testigo (Figura 2).

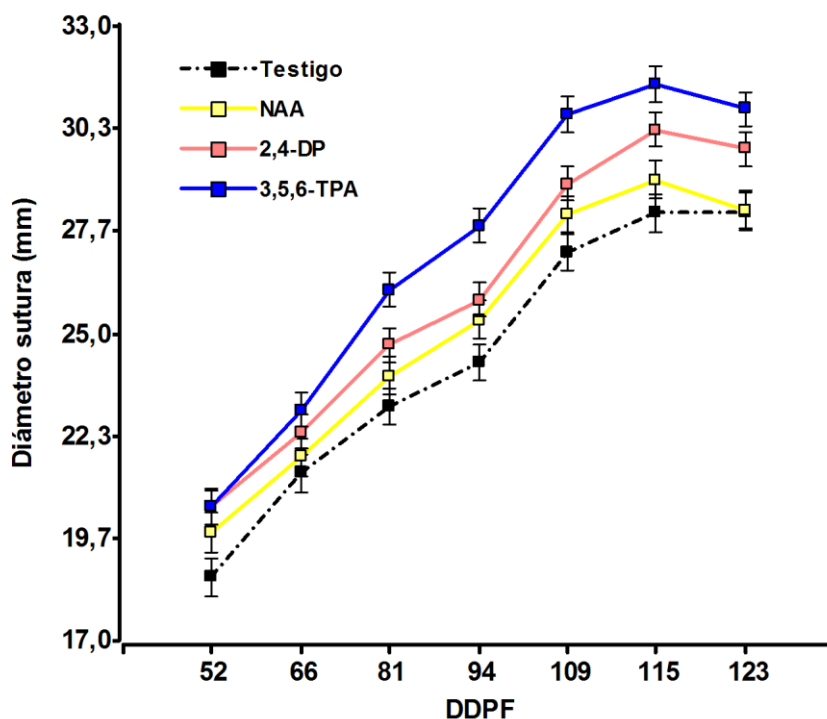


Figura 2. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de sutura (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021-2022.

En el diámetro polar, al igual que los otros diámetros evaluados, se observó a inicios de temporada un mayor crecimiento para los tratamientos con auxinas, los cuales promediaron 27,7 mm, 10% más que el tratamiento testigo. Asimismo, durante la temporada de crecimiento de fruto los valores presentaron un incremento lineal hasta los 115 DDPF, luego el crecimiento se mantuvo constante hasta cosecha. El resultado a cosecha mostró que el diámetro polar del fruto obtuvo diferencias estadísticamente significativas para el efecto de los tratamientos con las auxinas 2,4-DP y 3,5,6-TPA, sin diferencias estadísticas entre éstas, con un promedio 38,27 mm, que se tradujeron en diferencias de 7,3% y 9,6% mayores en comparación al tratamiento NAA y al tratamiento testigo, respectivamente (Figura 3).

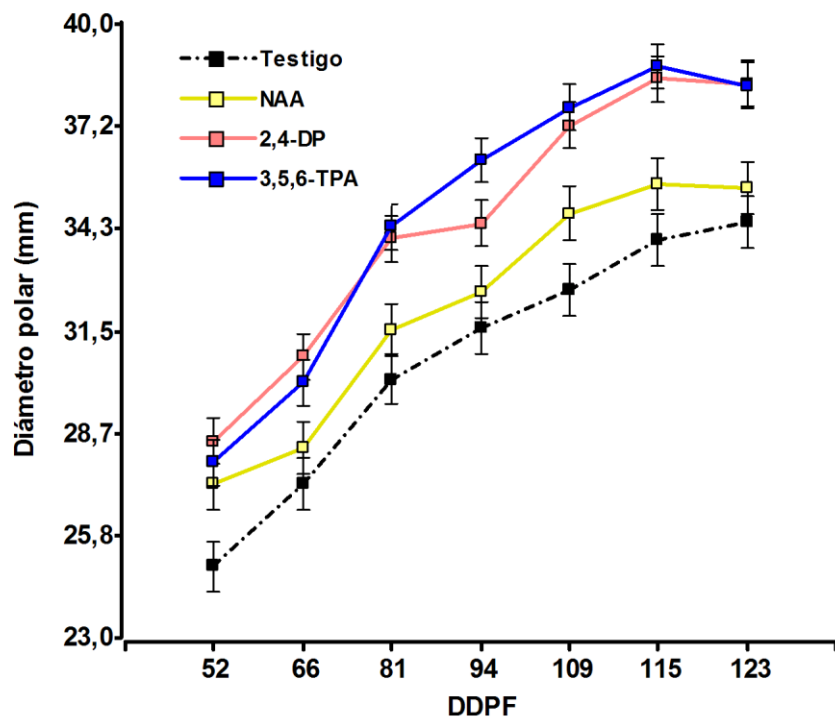


Figura 3. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el diámetro de polar (mm) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.

Con respecto a la medición de I_{AD} , a inicios de temporada, el tratamiento 3,5,6-TPA presentó diferencias estadísticamente significativas con un índice inicial de 2,20, correspondiente a 7% menor a lo observado en los otros tratamientos (Figura 4). Entre los 66 DDPF y 81 DDPF la disminución del índice se desaceleró en los tratamientos con auxinas, manteniéndose invariable, mientras en el testigo, el índice fue mayor. Desde los 94 DDPF a cosecha el índice de absorbancia de clorofila disminuyó en todos los tratamientos, sin embargo, en el tratamiento 3,5,6-TPA ocurrió de manera abrupta. De esta manera a la cosecha el tratamiento 3,5,6-TPA presentó una diferencia estadísticamente significativa en comparación al tratamiento testigo y otros tratamientos con auxinas, con un I_{AD} promedio de 1,56, y menor en 10,4% al resto de los tratamientos, que no se diferenciaron estadísticamente entre sí.

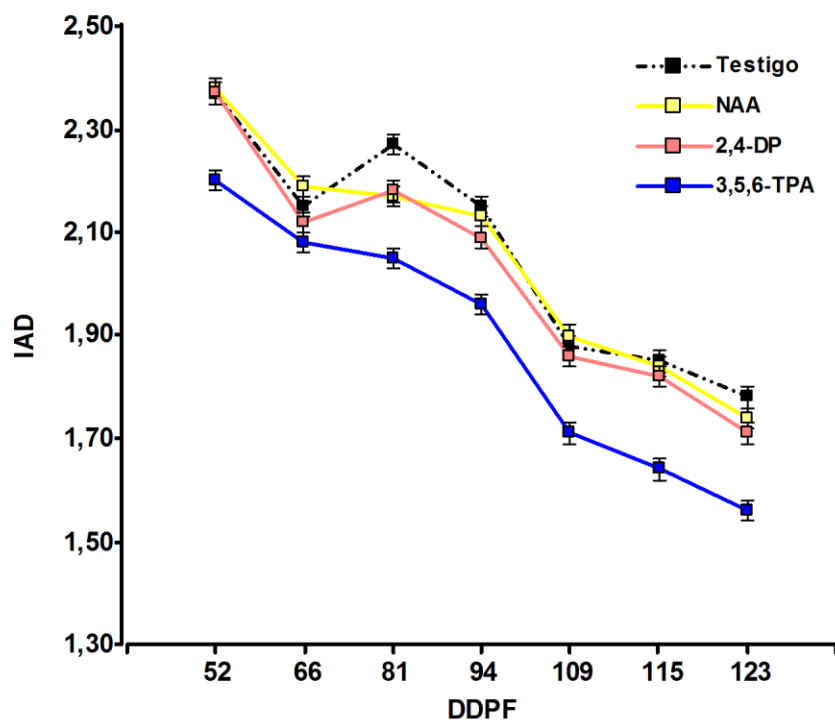


Figura 4. Efecto de tres auxinas de síntesis en la evolución IAD de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen durante la temporada 2021–2022.

Parámetros de crecimiento y madurez de frutos evaluados en laboratorio

En la Tabla 5 se presentan los resultados del análisis de varianza respecto a los parámetros crecimiento correspondientes a peso de fruto, diámetro de mejilla, diámetro sutura y diámetro polar evaluados en laboratorio, donde se demostró un efecto estadísticamente significativo de los tratamientos y DDPF, además de su interacción.

Tabla 5. Parámetros de crecimiento en ciruela europeo cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.

Fuente de variación	Peso	Diámetro mejilla	Diámetro sutura	Diámetro polar
	(g)	(mm)	(mm)	(mm)
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento*DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significancia	***	***	***	***

*, **, *** Indica que la prueba fue estadísticamente significativa con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente.

El peso de fruto presentó un aumento estadísticamente significativo durante la temporada (Figura 5a). El tratamiento con la auxina 3,5,6–TPA obtuvo una diferencia estadísticamente significativa y mayor respecto al tratamiento testigo, y los otros tratamientos de aplicación de auxinas, con un peso promedio de 23,29 g a cosecha. A su vez, el peso de los frutos provenientes de los tratamientos con las auxinas 2,4–DP y NAA, con medias similares entre sí, obtuvieron un peso de 18,12 g, y diferencias estadísticamente significativas respecto al testigo (Figura 5a). No obstante, el peso final registrado a cosecha, a los 123 DDPF, no correspondió al peso de fruto máximo estadístico durante la temporada, a excepción del tratamiento 2,4–DP, ya que el peso máximo en frutos se alcanzó a los 115 DDPF. En el caso del tratamiento 3,5,6–TPA, este valor correspondió a 26,0 g, es decir, 10,5% más que el valor a cosecha (Figura 5a).

En relación con el diámetro de mejilla, el efecto del tratamiento 3,5,6–TPA resultó con una diferencia estadísticamente significativa, con un valor 33,15 mm promedio a cosecha, mayor en 12% al testigo, y 9% respecto a los tratamientos 2,4–DP y NAA. Además, también se pudo comprobar una disminución significativa del diámetro entre los 115 DDPF y cosecha, únicamente para los tratamientos 3,5,6–TPA y testigo a diferencia de lo demostrado en campo (Figura 5b). Los resultados para este parámetro son similares a los obtenidos en campo (Figura 1).

En cuanto a los diámetros de sutura y polar fue también el efecto del tratamiento 3,5,6–TPA el que obtuvo mayores valores a cosecha, diferenciándose estadísticamente con los otros tratamientos. Estos valores correspondieron a 31,48 mm (Figura 5c), y 39,29 mm (Figura 5d),

respectivamente. Para el resto de los tratamientos, únicamente el efecto del tratamiento 2,4-DP demostró diferencias estadísticas sobre el diámetro, sin embargo, respecto al diámetro de sutura no existieron diferencias estadísticas entre estos (Figura 5c, 5d).

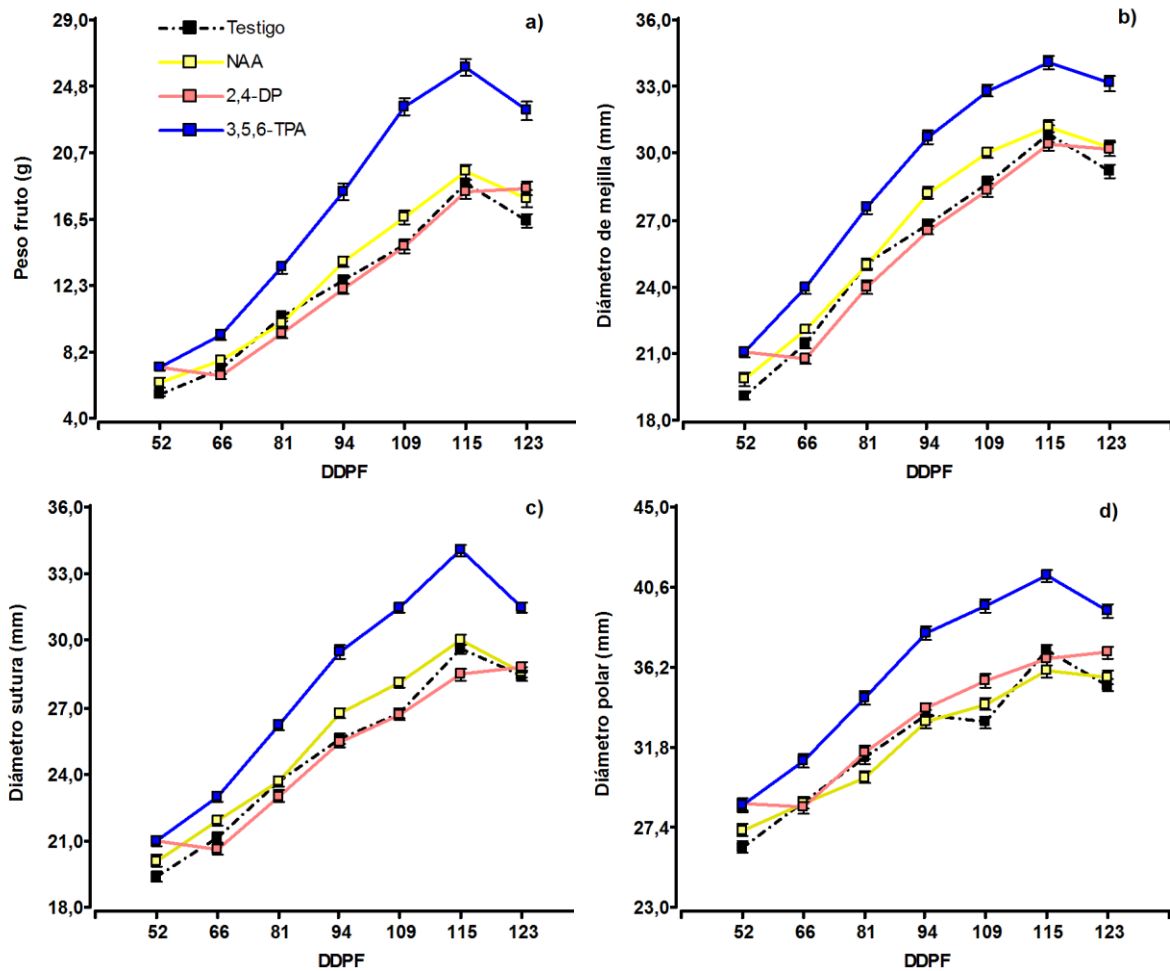


Figura 5. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del crecimiento de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agén, en función de a) peso de fruto (g), b) diámetro de mejilla (mm), c) diámetro de sutura (mm) y d) diámetro polar (mm), durante la temporada 2021–2022.

En la Tabla 6, se evidencian los resultados del análisis de varianza, donde se demostró efecto significativo de los tratamientos y DDPF, y su interacción, sobre el comportamiento de los parámetros Chroma (C^*) y tonalidad (h°) del color de piel y pulpa de ciruelas cv. D'Agen.

Tabla 6. Parámetros de color de piel y pulpa en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.

Fuente de variación	Cromaticidad de piel C^*	Tonalidad de piel h°	Cromaticidad de pulpa C^*	Tonalidad de pulpa h°
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento*DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significancia	***	***	***	***

*, **, *** Indica que la prueba fue estadísticamente significativa con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente

En la Figura 6a y b, se observa al inicio de temporada que la piel de la ciruela europea cv. D'Agen tiene tendencia a conservar colores más vivos, moviéndose de un verde intenso ($h^\circ = 122,6$, $C^* = 36,6$) a un verde más claro y puro ($h^\circ = 115,0$, $C^* = 35,6$), dos a tres semanas antes de cosecha. Así, durante este periodo, se obtiene el mayor aumento de color de piel. En la Figura 6a, se observa la cromaticidad de piel, donde el primer cambio de color significativo se produjo en el tratamiento 3,5,6–TPA, a los 109 DDPF, que representaría el paso a un verde menos saturado. Mientras el tono de piel decae significativamente y de forma exponencial en cada muestreo, siendo el tratamiento 3,5,6–TPA el que intensifica el proceso de cambio, hasta los 115 DDPF (Figura 6b).

A cosecha, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, teniendo valores de cromaticidad en piel (C^*) muy cercanos entre sí, en promedio de 27,48. Mientras que, para la tonalidad de piel (h°), en la misma fecha, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, entre los tratamientos con aplicación de auxinas y el tratamiento testigo. Así el promedio de los tratamientos correspondió a valores del ángulo hue (h°) 6% mayor al testigo, que obtuvo un hue de $86,0^\circ$ (Figura 6d).

Por otro lado, los resultados de la escala hedónica específica para ciruelas cv. D'Agen, permitió observar de manera más simplificada el color de cubrimiento en el fruto (Figura 7). Los

resultados evidenciaron que no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos, estando en promedio todos en valores sobre 2, indicativo de que las ciruelas presentaban entre 25%–50% de color de cubrimiento al momento de cosecha. Sin embargo, se hizo un contraste de estos resultados y se presentó un gráfico de barras apiladas (Figura 7), donde los resultados indicaron que el testigo obtuvo un color de cubrimiento más uniforme debido a que el 41% de los frutos evaluados se encontró con un color de cubrimiento sobre el 50%, correspondiente a un valor de 3 en la escala hedónica. Por su parte el tratamiento 3,5,6– TPA presentó menor homogeneidad, con una proporción de frutos menor para el índice 3, y mayor para el índice 1 (frutos 0–25% color de cubrimiento) (Figura 7).

El color de pulpa obtuvo diferencias estadísticamente significativas en su cromaticidad y tonalidad entre tratamientos a cosecha (Figura 6c y d). Los valores de Chroma a cosecha fueron mayores para el testigo con 39,25, mientras, que el tratamiento 3,5,6–TPA obtuvo el menor valor correspondiente a 32, 82. En tanto, el ángulo hue en el tratamiento NAA fue el más alto 104,19°, mientras que el tratamiento 3,5,6–TPA presenta el menor ángulo hue, comportamiento similar con la cromaticidad, donde el valor fue un 6,8% menos respecto al valor de NAA, representando un color amarillo verdoso. Por otra parte, también la auxina 2,4–DP evidenció un menor valor del ángulo hue en comparación con el testigo y NAA.

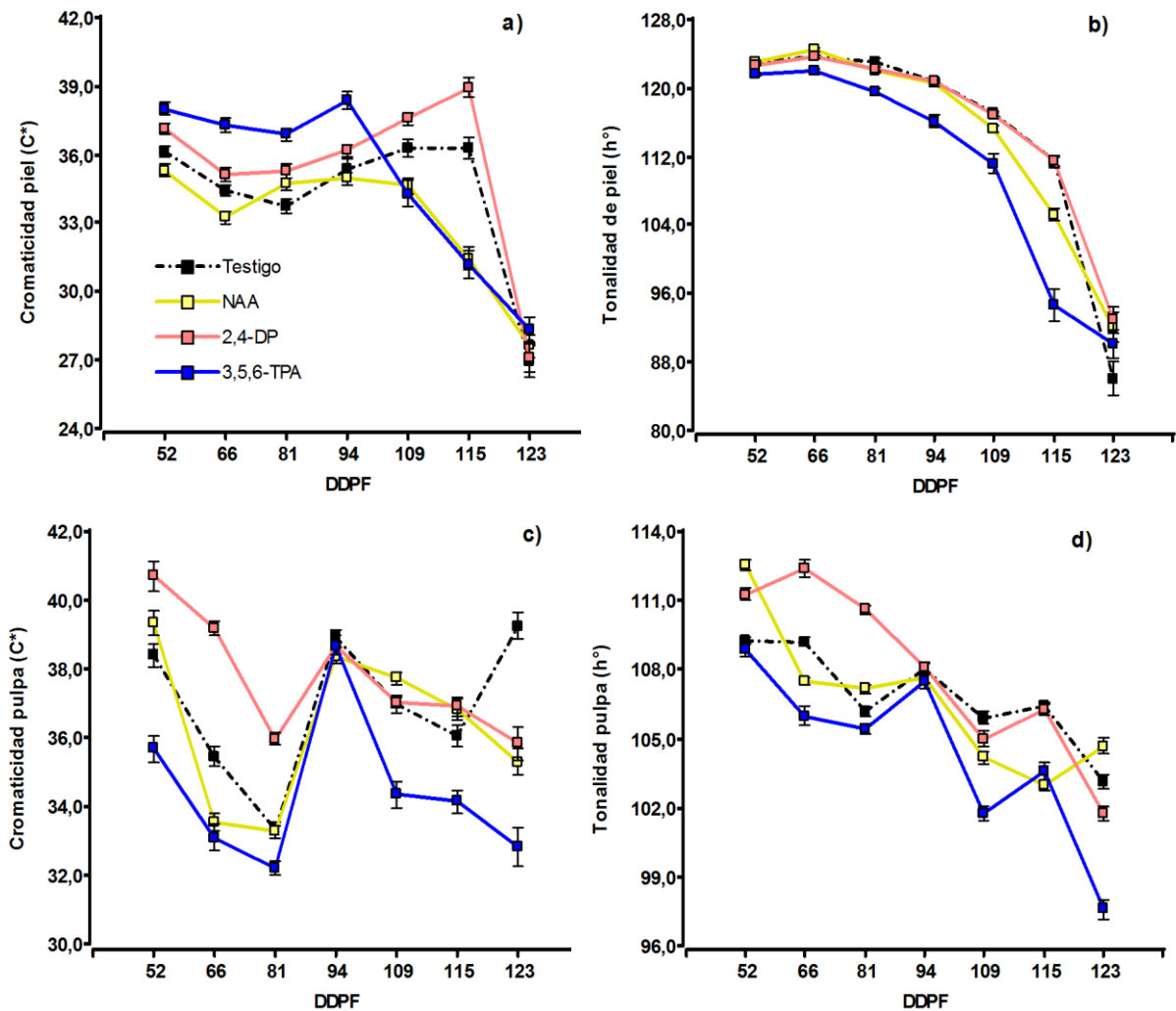


Figura 6. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del color de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de a) Cromaticidad piel (C*), b) Tonalidad piel (h°), c) Cromaticidad pulpa (C*) y e) Tonalidad pulpa (h°), durante la temporada 2021-2022.

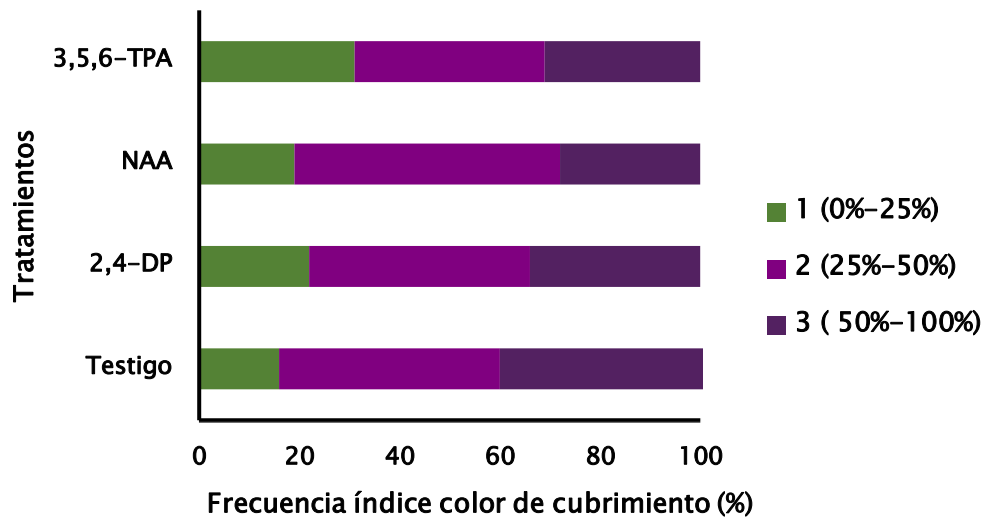


Figura 7. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento del color de cubrimiento de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de su escala hedónica a cosecha, durante la temporada 2021–2022.

El análisis de varianza para el comportamiento de parámetros de firmeza no destructiva y destructiva en el fruto se presentan en la Tabla 7. En esta se muestra el efecto significativo de los tratamientos y DDPF, y su interacción.

Tabla 7. Parámetros de firmeza de fruto en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.

Fuente de variación	Firmeza no destructiva	Firmeza no destructiva	Firmeza destructiva
	g mm ⁻¹	uD	N
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento*DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significancia	***	***	***

*, **, *** Indica que la prueba fue estadísticamente significativa con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente.

Las firmezas no destructivas, presentaron una disminución marcada a partir de los 81 DDPF y 94 DDPF (Figura 8a y b), mientras la firmeza destructiva disminuyó desde los 94 DDPF (Figura 8 c).

Las Figuras 8a, b y c, muestra que la auxina 3,5,6-TPA fue el tratamiento con mayor la pérdida de firmeza, alcanzando el mínimo valor a los 115 DDPF, con medias de 1919,35 g mm⁻¹, 94,18 uD y 44,04 N. Los otros tratamientos alcanzaron el valor mínimo de firmeza a cosecha (123 DDPF).

Las firmezas no destructivas a cosecha, registradas a los 123 DDPF (Figuras 8a y b), presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, donde el testigo obtuvo valores de firmeza equivalentes a 1406,74 g mm⁻¹ y 98,02 uD, que fueron mayores en 26,6% y 3,9% promedio en comparación a los demás tratamientos. Sin embargo, entre los tratamientos con auxinas de síntesis no se observaron diferencias estadísticas, ya que tienden a valores similares al final de la maduración.

Asimismo, en el caso de la firmeza de pulpa destructiva (Figura 8c), los tratamientos 3,5,6-TPA y 2,4-DP resultaron estadísticamente similares, pero disminuyeron significativamente frente a los tratamientos testigo y NAA que tampoco obtuvieron diferencias significativas entre sí. El valor promedio para el tratamiento 3,5,6-TPA y 2,4-DP fue de 45,1 N, es decir, 15,5% menos firmeza de pulpa con relación al tratamiento testigo y NAA, que promediaron de 53,38 N a cosecha (Figura 8 c).

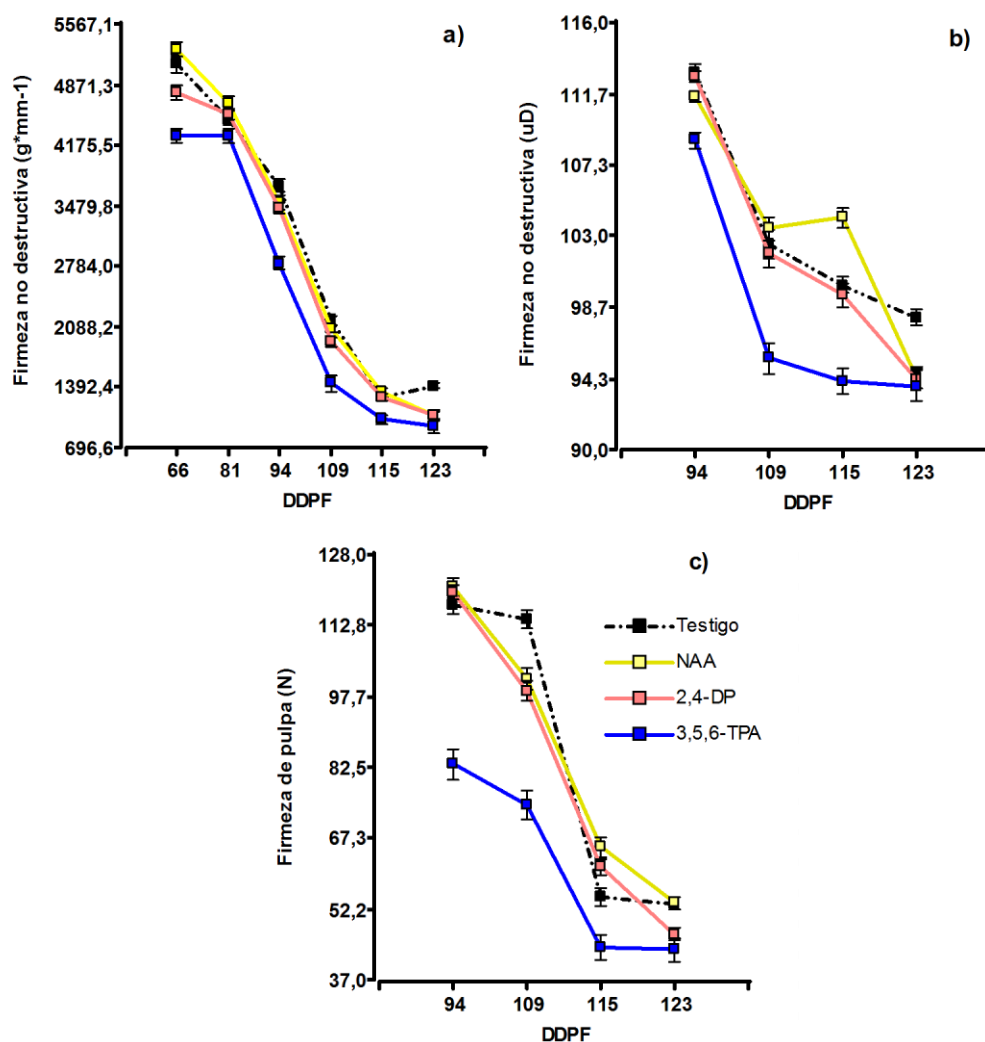


Figura 8. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre el comportamiento de la firmeza de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen, en función de a) Firmeza no destructiva medida con FirmPro (g mm^{-1}), b) Firmeza no destructiva, medida con Durofel (uD), y c) Firmeza destructiva de pulpa (N), durante la temporada 2021–2022.

Por otra parte, continuando con los análisis de parámetros de madurez, se evidenció un efecto significativo de los tratamientos y los DDPF, y la interacción entre ambos sobre el I_{AD} , la concentración de sólidos solubles (CSS), la acidez total (AT) y relación entre la CSS y AT (CSS/AT) (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros de madurez de fruto en ciruela europea cv. D'Agen, evaluados en laboratorio, durante la temporada 2021–2022.

Fuente de variación	Absorbancia de clorofila (I _{AD})	Concentración sólidos solubles (CSS) °Brix	Acidez total (AT) g L ⁻¹	Relación CSS/AT
Tratamiento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tratamiento*DDPF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Significancia	***	***	***	***

*, **, *** Indica que la prueba fue estadísticamente significativa con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente.

Respecto a la concentración de sólidos solubles (CSS) y acidez total (AT) en ciruela europea cv. D'Agen, se observó un comportamiento inverso entre estas variables, con aumento de la CSS hasta cosecha, mientras la AT disminuyó (Figura 9a y b).

Los resultados a cosecha destacaron con un aumento significativo en la CSS de los tratamientos testigo (19,5° Brix), NAA (19,6°Brix) y 2,4–DP (19,8°Brix), sin diferencias significativas entre estos. En el caso del tratamiento 3,5,6–TPA, su efecto resultó menor en 2,2%, con 19,24° Brix a cosecha (Figura 9a). Por su parte, la AT presentó una mayor variabilidad durante las evaluaciones, pero si se constató disminución significativa a cosecha, fecha donde se reportaron los valores más bajos durante la temporada (Figura 9b). Estos valores corresponden a 1,06 g L⁻¹, 1,09 g L⁻¹, y 1,01 g L⁻¹ para el efecto de los tratamientos testigo, NAA y 2,4–DP, respectivamente, mientras el tratamiento 3,5,6–TPA se diferenció estadísticamente por presentar una acidez 16,7% mayor (1,26 g L⁻¹).

Adicionalmente, la relación CSS/AT aumentó de manera progresiva (Figura 9c). A cosecha, el efecto del tratamiento con la auxina 2,4–DP obtuvo diferencias estadísticamente significativas en comparación a todos los tratamientos, con una relación CSS/AT de 20,4, seguido del tratamiento testigo y NAA con un valor promedio de 17,6. El tratamiento 3,5,6–TPA presentó un valor de 14,9, resultado que se explicaría por ser el tratamiento de menor CSS (°Brix) y acidez total más alta.

El I_{AD} presentó un comportamiento similar a lo observado en la Figura 4 (Figura 9d), durante el seguimiento de frutos en campo, con una disminución diferencial y estadísticamente

significativa por efecto del tratamiento 3,5,6-TPA, con un valor a cosecha de 1,53. Por su parte los tratamientos 2,4-DP y NAA obtuvieron valores de I_{AD} en promedio de 1,72 a cosecha, sin diferencias significativas entre estas, y menores al testigo. Mientras que el tratamiento testigo, evidenció el I_{AD} más alto, correspondiente a 1,78 (Figura 9d).

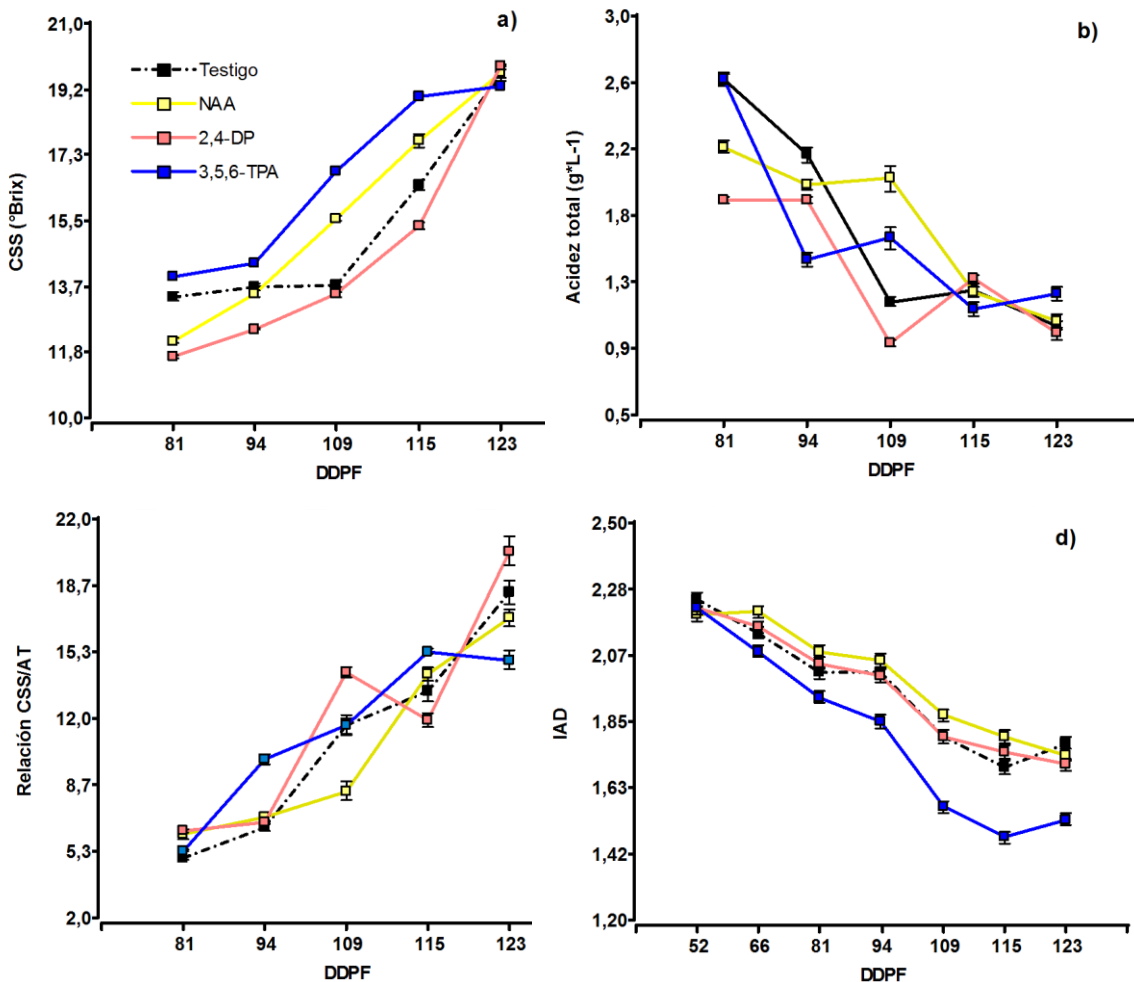


Figura 9. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre comportamiento de la madurez de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agen en función de a) CSS (°Brix), b) AT (g L⁻¹), c) relación CSS/AT e d) I_{AD} , durante la temporada 2021–2022.

Tamaño de árbol

En la Figura 10 se muestra como las mediciones de $fPARi$ a inicios de temporada se diferenciaron significativamente para los tratamientos NAA, testigo y 3,5,6-TPA, con un valor promedio de 0,59, y mayor 17% en promedio respecto al tratamiento 2,4-DP, que obtuvo una media de $fPARi$ de 0,49. A mitad de temporada la $fPARi$ aumenta para todos los tratamientos de auxinas, mientras el testigo disminuye significativamente un 13% respecto a la medición anterior. A los 100 DDPF la $fPARi$ decae en los tratamientos con auxinas en comparación a la medición anterior, mientras el testigo mantiene invariable su valor de media obtenido a los 79 DDPF. Desde los 100 DDPF hasta los 136 DDPF existió un aumento significativo en los tratamientos 2,4-DP y testigo, mientras que los aumentos observados para los tratamientos 3,5,6-TPA y NAA no fueron significativos. De esta forma a cosecha, los tratamientos de aplicación de auxinas resultaron sin diferencias significativas entre sí, pero significativos y mayores frente al tratamiento testigo. El valor promedio de los tratamientos con auxinas correspondió 0,59, mayor en 8,5% al tratamiento testigo (0,54).

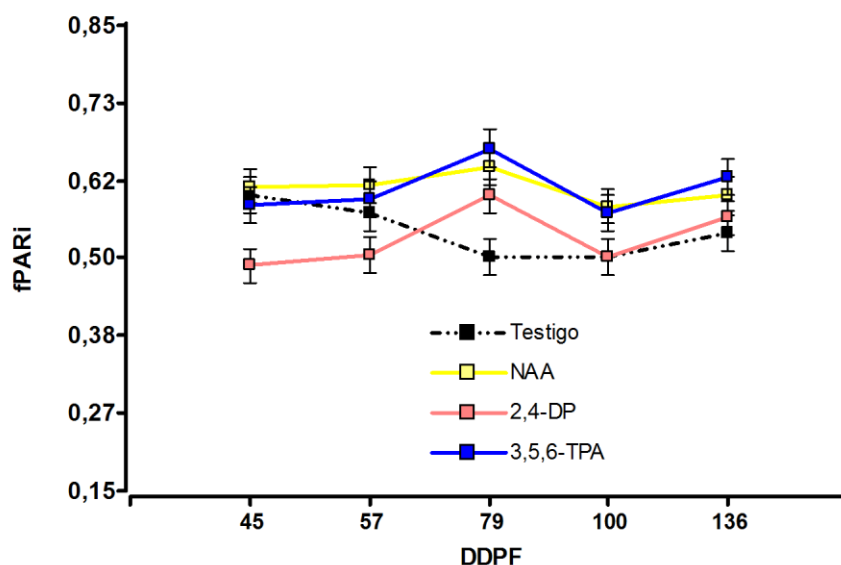


Figura 10. Efecto de tres auxinas de síntesis sobre la evolución del desarrollo de la copa de árboles de ciruelo europeo cv. D'Agen, evaluado como $fPARi$ en función de los DDPF, durante la temporada 2021–2022.

El tamaño del árbol evaluado en la cosecha (136 DDPF), expresado en área de sección transversal de tronco (ASTT) en cm² y *fPARi*, presentó diferencias estadísticas significativas únicamente en *fPARi* (Tabla 9). Los árboles aplicados con el tratamiento 3,5,6-TPA obtuvieron una mayor fracción de PAR, con un promedio de 0,62.

Tabla 9. Tamaño del árbol de ciruelo europeo D'Agen expresado en área de sección transversal del tronco (ASTT) y fracción interceptada de radiación fotosintéticamente activa (*fPARi*) evaluadas en cosecha.

Tratamiento	ASTT (cm ²)	<i>fPARi</i>
Testigo	377,02 ± 13,52 a	0,54 ± 0,02 b
2,4-DP	379,30 ± 13,08 a	0,57 ± 0,03 b
NAA	399,99 ± 15,15 a	0,56 ± 0,02 b
3,5,6-TPA	408,42 ± 10,80 a	0,62 ± 0,02 a
Significancia	n.s	*

*, **, *** indica que el ANDEVA fue significativo, con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente, y n.s que no fue significativo. Las columnas presentan la media y el error estándar de cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), mientras letras iguales establecen que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$), a partir de la prueba DGC ($\alpha = 0,05$).

Carga frutal

En la Tabla 10 se observa que la carga frutal a cosecha expresada como frutos árbol⁻¹, frutos m⁻² y frutos cm⁻² ASTT fue mayor en los tratamientos con auxinas de síntesis respecto al tratamiento testigo. Sin embargo, en la carga frutal en función del tamaño del árbol expresado como frutos m⁻² *fPARi*, se observó que el tratamiento con la auxina 3,5,6-TPA no se diferenció estadísticamente con el testigo, destacándose únicamente el 2,4-DP y NAA.

Tabla 10. Carga frutal expresada en frutos por árbol, marco de plantación del huerto de ciruelo europeo cv. D'Agen o normalizada con relación a su cm^{-2} ASTT y m^{-2} *fPARI*.

Tratamiento	Frutos árbol ⁻¹	Frutos m^{-2}	Frutos cm^{-2} ASTT	Frutos m^{-2} <i>fPARI</i>
Testigo	2181,83 ± 384,73 b	104,83 ± 18,50 b	5,68 ± 0,87 b	197,72 ± 39,83 b
2,4-DP	4223,50 ± 384,73 a	203,00 ± 18,50 a	10,92 ± 0,87 a	357,18 ± 39,83 a
NAA	4104,17 ± 384,73 a	197,33 ± 18,50 a	10,00 ± 0,87 a	361,61 ± 39,83 a
3,5,6-TPA	3424,50 ± 384,73 a	164,67 ± 18,50 a	8,23 ± 0,87 a	265,95 ± 47,3 b
Significancia	*	*	*	*

*, **, *** indica que el ANDEVA fue significativo, con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente, y n.s que no fue significativo. Las columnas presentan la media y el error estándar de cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), mientras letras iguales establecen que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$), a partir de la prueba DGC ($\alpha = 0,05$).

Producción y eficiencia productiva

La producción y eficiencia productiva del ciruelo europeo cv. D'Agen demostró diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos en que se utilizaron auxinas de síntesis en comparación con el tratamiento testigo (Tabla 11). Este último fue menor en términos de producción (kg árbol^{-1}) y eficiencia productiva (kg m^{-2} , kg cm^{-2} ASTT y kg m^{-2} *fPARI*).

Tabla 11. Producción por árbol y eficiencia productiva de los diferentes tratamientos aplicados como ensayo.

Tratamiento	Producción		Eficiencia productiva	
	kg árbol^{-1}	kg m^{-2}	kg cm^{-2} ASTT	kg m^{-2} <i>fPARI</i>
Testigo	35,92 ± 5,95 b	1,73 ± 0,29 b	0,09 ± 0,01 b	3,29 ± 0,67 b
2,4-DP	72,62 ± 5,95 a	3,33 ± 0,29 a	0,18 ± 0,01 a	5,82 ± 0,67 a
NAA	69,19 ± 5,95 a	3,49 ± 0,29 a	0,18 ± 0,01 a	6,44 ± 0,67 a
3,5,6-TPA	76,54 ± 5,95 a	3,68 ± 0,29 a	0,18 ± 0,02 a	5,96 ± 0,67 a
Significancia	**	*	*	*

*, **, *** indica que el ANDEVA fue significativo, con $p \leq 0,05$, $\leq 0,001$, $\leq 0,0001$, respectivamente, y n.s que no fue significativo. Las columnas presentan la media y el error estándar de cada tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), mientras letras iguales establecen que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$), a partir de la prueba DGC ($\alpha = 0,05$).

Al ajustar las variables de eficiencia productiva expresadas en kg m^{-2} , kg cm^{-2} ASTT, y kg m^{-2} *fPARI*, por medio de un ANCOVA, utilizando de covariable la carga frutal, expresada en frutos m^{-2} , frutos cm^{-2} ASTT y frutos m^{-2} *fPARI* (Figuras 11a, b y c), se obtuvo efecto significativo de todas las covariables de carga frutal. De esta forma, el tratamiento con la auxina 3,5,6-TPA presentó una diferencia significativa en los tres análisis de ajuste de covarianza ($3,53 \text{ kg m}^{-2}$, $0,19 \text{ kg cm}^{-2}$ ASTT y $6,42 \text{ kg m}^{-2}$ *fPARI*), mientras que, el tratamiento NAA demostró resultados significativos solo cuando se ajustó la eficiencia productiva por la covariable fruto m^{-2} ($3,13 \text{ kg m}^{-2}$) (Figura 11a).

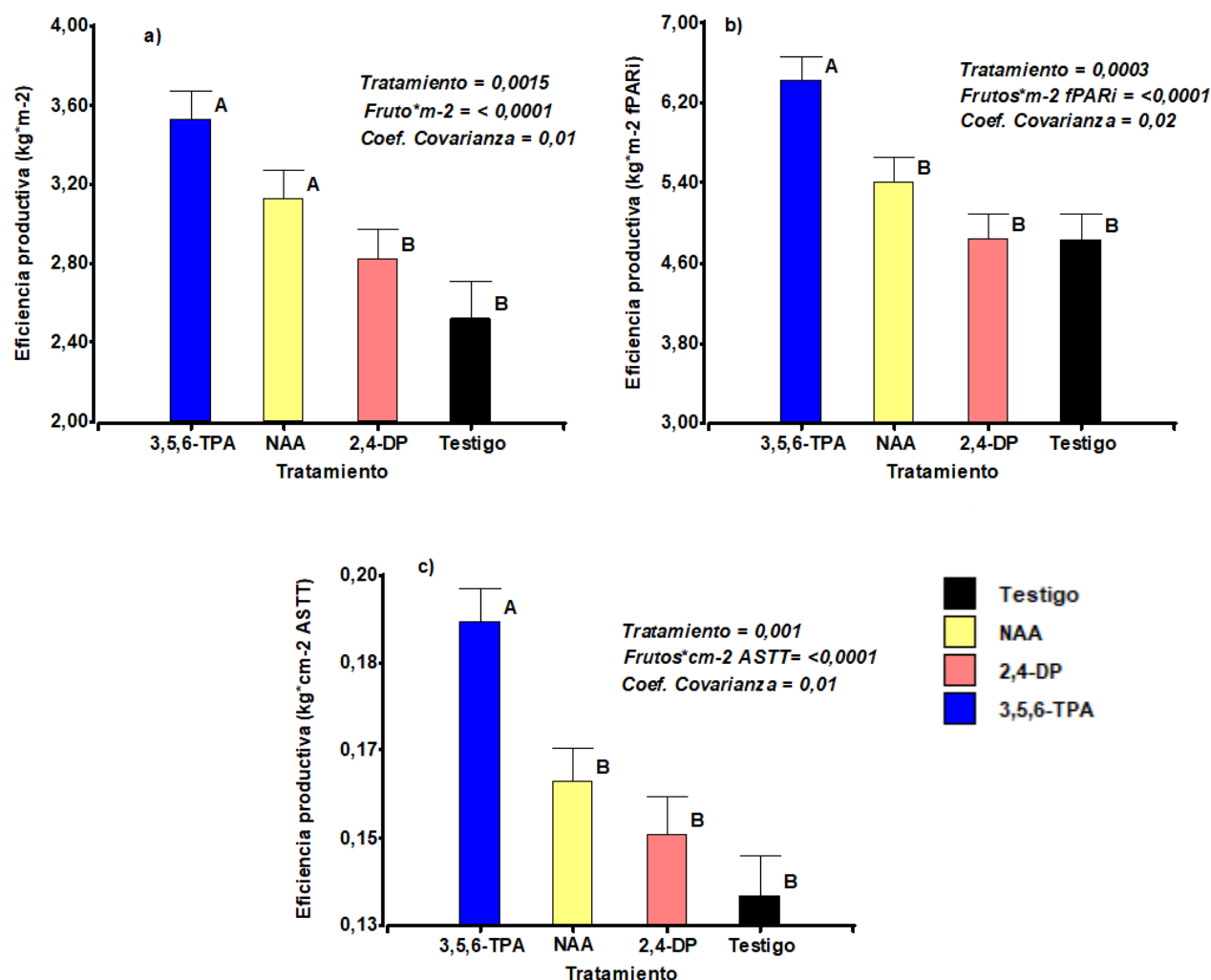


Figura 11. Eficiencia productiva ajustada a la covariable de carga frutal expresada en a) frutos m^{-2} , b) frutos m^{-2} fPARI y c) frutos cm^{-2} ASTT. Se utilizó el estadístico DGC ($\alpha=0,05$) para estimar las diferencias entre tratamientos.

Distribución de calibres y valor de producción

Todos los tratamientos con auxinas mejoraron la distribución de calibres respecto al testigo como se muestra en la Figura 12. El tratamiento NAA presenta un 94% de su distribución entre categorías L y J, mientras el tratamiento 2,4-DP presenta un 90% entre las mismas categorías (Figura 12). Por su parte el tratamiento 3,5,6-TPA muestra una distribución menos

heterogénea que los demás tratamientos, pero con calibres superiores respecto a los demás tratamientos, pues concentra el 100% de sus calibres desde la categoría L en adelante, y presenta 60,8 % entre las categorías J y 3J. El testigo concentra el 86% de sus frutos entre las categorías L y XL, además del 10,6% de sus frutos en la categoría de PC, mientras el 2,4-DP obtuvo 9,7% de precalibre y el NAA 5,3% de PC.

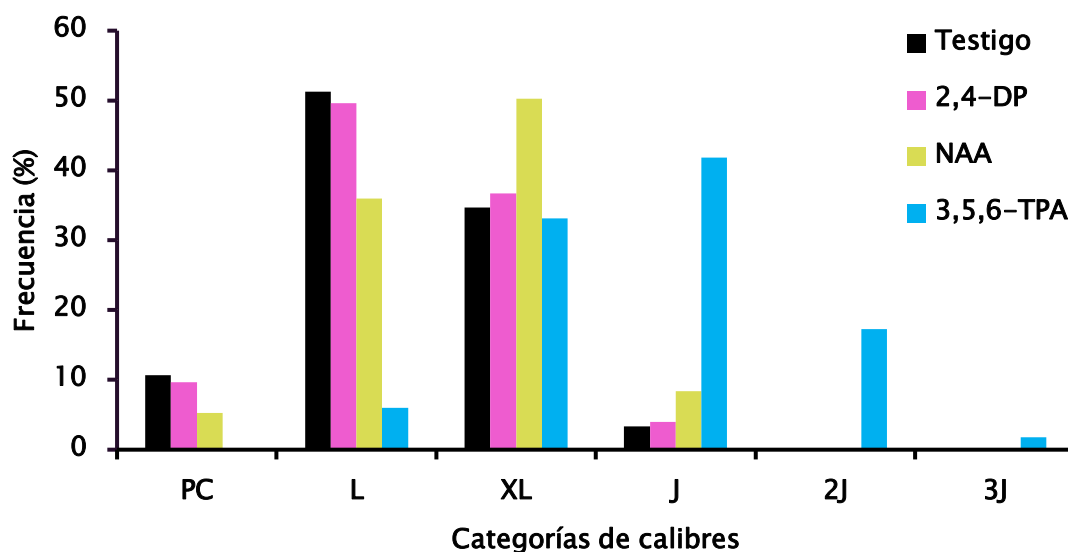


Figura 12. Efecto de tres tratamientos de auxinas de síntesis sobre la distribución de categorías de calibres (%) de frutos de ciruelo europeo cv. D'Agén, cosechados durante la temporada 2021 – 2022.

El valor de producción neto (VP) expresado en US\$ ha⁻¹, se determinó a partir de la producción promedio en kilos por tratamiento de cada categoría de calibre y, a partir de esta información se multiplicó por el precio de las categorías de calibres exportable (según la información proporcionada por la exportadora, con un valor en US\$) y el número de plantas ha⁻¹ del huerto para obtener el valor de producción estimado en los distintos tratamientos.

Los resultados respecto al valor de producción en la Figura 13, indican que en los tratamientos donde se utilizaron auxinas de síntesis, se obtuvo mayores ingresos y retorno de producción, dado que, produjeron una mayor producción de calibres exportables. Al respecto, el mayor ingreso por ha (US\$ ha⁻¹) lo obtuvo el tratamiento 3,5,6-TPA con VP neto de 30.505,8

US\$, seguido del tratamiento NAA con VP neto de 18.604,9 US\$, mientras, el tratamiento 2,4-DP presentó un VP neto de 13.373,5 US\$. Finalmente, el tratamiento testigo registró un retorno neto al productor igual a 6.599,2 US\$ (Figura 13).

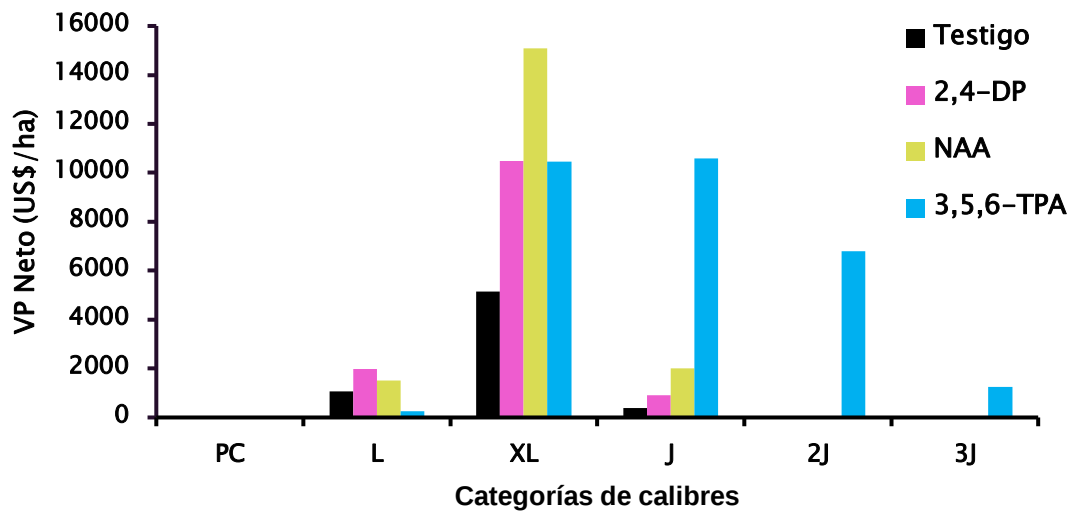


Figura 13. Efecto de tres tratamientos de auxinas de síntesis sobre la distribución valor de producción (US\$ ha⁻¹) respecto a las diferentes categorías de calibres exportables para ciruela europea cv. D'Agén, cosechados durante la temporada 2021-2022.

Discusión

Seguimiento de parámetros de crecimiento y madurez en campo

Los diámetros de mejilla, sutura y polar (Figuras 1, 2 y 3) presentaron un patrón sigmoidal característico en especies de carozo durante la fase III de crecimiento de fruto, similares a las reportadas por Reginato (2011) y Gil (2012) durante la misma fase de crecimiento de fruto. El ensayo contempló únicamente la fase III de crecimiento de fruto dado que las mediciones comenzaron a los 52 DDPF, fecha que coincidiría con el término de la fase II de crecimiento, y se asocia al endurecimiento de carozo (EDC) y al crecimiento del embrión, caracterizada por un bajo crecimiento del endocarpio (Gil, 2012).

El aumento significativo de los diámetros de mejilla, sutura y polar a cosecha, principalmente por el tratamiento con la auxina 3,5,6-TPA aplicada a inicios de endurecimiento de carozo (Figuras 1, 2, 3), coincide con lo reportado en duraznero cv. Flordastar (Agustí *et al.*, 1999), ciruelo japonés cv. Royal Diamond (Stern *et al.*, 2006c), damasco cv. Canino (Stern *et al.*, 2007a) y cerezo cv. Bing (Stern *et al.*, 2007b) que también mostraron una aceleración significativa en la tasa de crecimiento y aumento diferencial en sus diámetros a cosecha, con la aplicación de similares auxinas de síntesis. Esto sería consecuencia del incremento de la fuerza del sumidero (fruto) ejercida por las auxinas (Agustí *et al.*, 1994; Fichet, 2019) durante los peaks de crecimiento de fruto en las fases I y III (Miller, 1987), y la mayor disponibilidad de asimilados a inicio de endurecimiento de carozo (Westwood, 1993). Al respecto, se ha comprobado que el crecimiento vegetativo modifica la disponibilidad de asimilados debido a su efecto en la relación fuente-sumidero y la distribución de carbohidratos entre frutos y brotes en crecimiento (Goren, 2004). Lo anterior refuerza el efecto de la aplicación tardía de auxinas a inicios de endurecimiento de carozo para el tratamiento 3,5,6-TPA, dado que el crecimiento de brotes se encuentra detenido, siendo más eficiente disponer de los asimilados para el crecimiento de fruto, a diferencia de lo que ocurre con aplicaciones tempranas del tratamiento 2,4-DP, o semi tardías en el tratamiento NAA, durante fase I, donde aún existe competencia entre las estructuras vegetativas y

reproductivas. Por su parte, el tamaño del fruto también es afectado por la carga de fruta, por lo que menor carga frutal implica mayor tamaño de este (Agustí & Almela, 1991), lo que sustenta lo observado con la auxina 3,5,6-TPA que obtuvo una menor carga frutal expresada en frutos m^{-2} *fPARI* (Tabla 10) y mayores diámetros a cosecha (Figuras 1, 2, 3).

La disminución del tamaño de fruto entre los 115 y 123 DDPF en los tratamientos con auxinas (Figuras 1, 2, 3) podría ser consecuencia de la alta tasa respiratoria del fruto (Uzenik, 2008), incrementada por la producción de etileno estimulado por las auxinas (Lester *et al.*, 1994; Bapat *et al.*, 2010; Fichet, 2019), derivando en un adelanto del climaterio (Agustí *et al.*, 1999). A su vez, las alzas respiratorias durante el climaterio se relacionan con pérdida rápida de firmeza y peso de fruto, lo que explica la disminución en diámetros de mejilla y sutura acentuada cercana a cosecha para los tratamientos con auxinas (Valero, 2003). Por lo tanto, los resultados del tratamiento testigo en comparación con los tratamientos de aplicación auxinas sugieren que, retrasar la cosecha de ciruela europea cv. D'Agen para consumo fresco cuando se utilizan auxinas sería desventajoso para el calibre dada la disminución del diámetro de mejilla cercano a cosecha. Sin embargo, esto tendría que contrastarse, o bien, ser evaluado respecto a los parámetros de madurez como indicadores de cosecha para esta especie.

Por su parte, el comportamiento de I_{AD} conforme avanza el crecimiento de fruto, muestra una disminución del índice debido a la degradación de clorofila, característico de frutos climatéricos como el ciruelo europeo cv. D'Agen (Crisosto, 1994), lo que resulta en una medida segura para evidenciar maduración (Infante *et al.*, 2011). Por lo tanto, la disminución significativa en la concentración de clorofila demostrada por el índice de diferencia de absorbancia de clorofila (I_{AD}) (Figura 4) sería indicativo del nivel avanzado de madurez de los frutos entre los 109 y 123 DDPF (Ziosi *et al.*, 2008; Infante *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2016), en respuesta al tratamiento 3,5,6-TPA. Al respecto se ha demostrado una alta correlación del I_{AD} con la disminución de la firmeza de fruto y aumento de la CSS en ciruelo europeo cv. D'Agen (Infante *et al.*, 2011) y acidez titulable en duraznero cv. Fayette, nectarin cv. Laura y cv. Stark Red Gold (Ziosi *et al.*, 2008). Asimismo, la disminución significativa de absorbancia de clorofila durante la temporada por acción de la enzima clorofilasa, se daría en respuesta a altas concentraciones de etileno para

frutos con este patrón de climaterio (Crisosto, 1994) como consecuencia de la afinidad que tiene la auxina 3,5,6-TPA en la promoción de la síntesis endógena de etileno, mediante la activación del enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintasa (ACC sintasa) (Fichet, 2019). Cabe señalar que en este ensayo no se evaluó directamente la concentración de etileno, sin embargo, en diferentes variedades de duraznero pudo correlacionarse la producción de etileno pre-climaterio, climaterio y post climaterio durante el desarrollo y madurez del fruto mediante el I_{AD} (Ziosi *et al.*, 2008).

Parámetros de crecimiento y madurez de frutos evaluados en laboratorio

El peso de fruto es un parámetro de crecimiento, que al igual que los diámetros, presenta un patrón doble sigmoidal característico de las especies de carozo (Gil, 2012; Reginato, 2011). La etapa III de crecimiento es la más relevante para la ganancia de peso en el fruto (Figura 4a), dado que se produce un aumento acelerado del peso fresco, y peso seco de fruto por la elongación de las células del mesocarpio (Kader & Mitchell, 1989; Reginato, 2011; Gil, 2012), no obstante, el peso potencial es definido en la etapa I de crecimiento dado que existe una mayor actividad de división celular (Gil, 2012).

Los resultados significativos del peso de fruto en respuesta a los tratamientos con auxinas, especialmente la auxina 3,5,6-TPA que incremento casi 30% en promedio en relación con el testigo en cosecha (Figura 5a), concuerdan con lo obtenido por Agustí *et al.* (1999) en duraznero cv. Springlady, cv. Maybelle y cv. Maycrest, donde la auxina 3,5,6-TPA en dosis menores (10 mg L^{-1}) obtuvo un incremento del peso de fruto a cosecha en 18,9%, 10,56% y 5,16%, respectivamente, en comparación al testigo. Por su parte, la disminución del peso de fruto reportado entre los 115 DDPF y la cosecha (Figura 5a), concomitante con la disminución de diámetros de mejilla y sutura, se atribuiría principalmente a la pérdida directa de agua desde las células del mesocarpio por transpiración durante la etapa de maduración, además de la influencia de las aplicaciones de auxinas en la biosíntesis de etileno (Agustí & Almela, 1991; Fichet, 2019), ya que es la hormona encargada de la coordinación de estos cambios durante la maduración

(Prasanna *et al.*, 2007). Castillo *et al.* (2012) en ciruelas japonesas cv. Golden Japan, cv. Angeleno, cv. Songold y cv. Black Amber no observaron disminución significativa del peso aun cuando retraso la cosecha. Lo anterior sugiere que la pérdida de peso del fruto durante madurez es variable entre especies y cultivares, siendo clave la intensidad de la respiración climatérica (Abdi *et al.*, 1997).

Los cambios de color en piel y pulpa en ciruelas durante la maduración están asociados a la degradación de clorofilas, y síntesis de antocianinas y carotenoides (Uzenik *et al.*, 2009; Diaz-Mula *et al.*, 2011), acelerados por el etileno (Abdi *et al.*, 1998; Lelievre *et al.*, 1997). El cambio de color de la ciruela observado en la Figura 6 fue errático en relación a la respuesta frente a tratamientos, pues a nivel de piel disminuyó de manera significativa la tonalidad (ángulo hue) para el testigo, no obstante, estas diferencias de medias entre tratamientos no reflejan un cambio consistente en el color de piel puesto que a cosecha todos los tratamientos obtienen una tonalidad amarillo anaranjado como lo indica la escala de McGuire (1992) característico del color de fondo de las ciruelas europeas cv. D'Agen producto del catabolismo de las clorofilas y la exposición de carotenoides (Diaz-Mula *et al.*, 2011).

A nivel de pulpa los tratamientos con auxinas demostraron mayor efecto, siendo el tratamiento 3,5,6-TPA diferencial, con mayor disminución en los parámetros de color de pulpa. Sin embargo, los valores de tonalidad en todos los tratamientos están dentro del mismo rango de color indicativo del amarillo verdoso según McGuire (1992). Al respecto, Agustí *et al.* (1999) en duraznero cv. Flordastar demostraron que la aplicación de 10 mg L⁻¹ de la auxina 3,5,6-TPA a inicios de endurecimiento de carozo aumentaba las concentraciones de etileno y aceleraba el climaterio, lo que explicaría el cambio de color de pulpa significativo para el tratamiento con la auxina 3,5,6-TPA, pero no lo observado respecto al color de piel. Por su parte, el color de cubrimiento producido por la síntesis antocianinas, principalmente la cianidin-3-rutinoside y peonidin-3-rutinoside (Uzenik *et al.*, 2008; Uzenik *et al.*, 2009) que se traduce en tonos rojo morado o morado (McGuire, 1992) como se reporta en la Figura 7, demostró que el porcentaje de cubrimiento estaría dentro del mínimo exigido para exportación de ciruelas, puesto que el mercado chino exige 35% de color (Polanco, 2022), y el ensayo presentó más de 50% en todos

sus tratamientos. Sin embargo, estos resultados comparativamente son bajos respecto a los obtenidos por Moreno *et al.* (2020), quienes obtuvieron 83% de frutos con más del 50% de color de cubrimiento a cosecha en un huerto del mismo cultivar de ciruela manejado para producción en fresco.

La firmeza de fruto en ciruela es considerada como un buen índice de cosecha, que disminuye de manera natural a medida que el fruto madura (Crisosto & Mitchell, 2002). El cambio de textura del fruto se debe en gran medida a la degradación de las paredes celulares que están compuestas entre un 90–95% por celulosa, hemicelulosa y pectinas (Prasanna *et al.*, 2007; Tucker, 2013). Las enzimas pectin-esterasa, piligaracturonasa, β (1–4) gluconasa o celulasa y β -galactosidasa son las responsables de la degradación de los carbohidratos poliméricos que causan el debilitamiento de las paredes celulares y fuerzas cohesivas que las mantienen unidas, ocasionando la pérdida de firmeza del fruto (Reid, 2002). Sin embargo, otro factor a considerar es la pérdida de presión de turgor interna en las células del mesocarpio, lo que también contribuye en la disminución de firmeza por la pérdida de agua desde las vacuolas (Thomas *et al.*, 2008).

La menor firmeza de fruto no destructiva y destructiva presentada por efecto de los tratamientos con auxinas (Figura 8a, b y c) concuerda con Stern *et al.*, (2007c) en ciruelo cv. Songold, donde reportaron pérdida de firmeza destructiva a cosecha entre 9,6%–12,1% por efecto de las auxinas, al igual que en damasco cv. Canino con reducción de 8%–9% (Stern *et al.*, 2007a). Sin embargo, los valores de firmeza presentados en el ensayo se encuentran dentro del mínimo requerido de 26,6 N (equivalente a 6 lb) para exportación en fresco (Polanco, 2022). La disminución significativa de la firmeza sería explicada por el efecto indirecto de las auxinas, dado que el testigo mantuvo mayor firmeza no destructiva y destructiva. Aparentemente, se infiere el efecto que ejercen las auxinas sobre los niveles de ACC sintasa (Fichet, 2011), enzima que incrementa la producción de etileno endógeno del mesocarpio (Bapat *et al.*, 2010) de modo tal que acelera el ablandamiento del fruto por su dependencia del etileno (Lelievre *et al.*, 1997). Lo anterior ha sido demostrado por Agustí *et al.* (1999) en duraznero. De hecho, Khan & Singh (2007) en ciruela japonesa cv. Tegan Blue, demostraron que el etileno aumenta la actividad de

las enzimas encargadas de la degradación de celulosa y pectinas en la pared celular. Otro factor adicional para considerar en la disminución de la firmeza es el efecto de retención de frutos que logran las auxinas, lo que aumenta la carga frutal y la competencia por asimilados (Yıldırım *et al.*, 2010; Fichet, 2019), generando menos carbohidratos estructurales disponibles para los frutos (Agustí & Almela, 1991). De esta forma se explicaría la menor firmeza presentada en los tratamientos con auxinas (Figuras 8a, b y c), o de modo contrario, la mayor firmeza en el tratamiento testigo dada su menor carga frutal (Tabla 10). Al respecto, Pérez *et al.* (1998) en vid de mesa cv. Redglobe, demostraron que la disminución de la carga frutal incrementó la firmeza de los frutos, por aumento de la relación hoja/fruto, existiendo una mayor cantidad de carbohidratos estructurales disponibles.

En relación con el descenso significativo en la firmeza observado en los tratamientos con aplicaciones de auxinas en este estudio, es esencial destacar que el crecimiento vegetativo excesivo, vinculado negativamente a la acumulación de calcio (Ca) en el fruto según lo señalado por Covarrubias (2022), no parece ser un factor explicativo concluyente. Esto se debe al hecho de que el máximo incremento en el desarrollo de la copa se evidenció a los 79 DDPF para los tratamientos de aplicación de auxinas en comparación con el tratamiento testigo, como se muestra en la Figura 10. Este periodo contrasta con lo informado por Covarrubias (2022) en cerezos, donde la principal translocación de calcio hacia el fruto ocurre tempranamente en la fase I de crecimiento de fruto, debido al aumento en el flujo transpiratorio y la actividad celular específica del fruto que facilita la acumulación de Ca en las paredes celulares.

En principio, se esperaba que las aplicaciones tempranas de auxinas en el ramillete expuesto y la caída de chaqueta mejoraran la firmeza del fruto. Este supuesto se respalda con investigaciones previas, como las de Cutting & Brower (1989) en palto (*Persea americana* Mill.), donde las auxinas aumentan la translocación de Ca hacia el fruto al influir en el incremento de la fuerza sumidero y la división celular. Este proceso favorece la acumulación de Ca en las paredes de las células en crecimiento. De hecho, Quintanilla *et al.* (2022), al trabajar con nectarines cv. Andesnectres que mostraban una tendencia al ablandamiento, obtuvieron resultados positivos al aplicar 20 unidades de Ca en prefloración y postcuaaja, junto con la auxina de síntesis 2,4-DP.

Esto resultó en una mayor firmeza y menor harinosidad del fruto en el periodo postcosecha. Considerando lo anterior y en concordancia con la Figura 10, la menor fracción de radiación fotosintéticamente activa incidente (*fPAR*) al inicio de la temporada respecto con el tratamiento 2,4-DP sugiere que esta auxina favoreció el crecimiento del fruto en desmedro de los brotes, teóricamente generando una mayor translocación de Ca hacia el sumidero de mayor demanda, es decir, el fruto.

El incremento de la concentración de sólidos solubles durante la temporada en ciruelo europeo cv. D'Agen es resultado de la acumulación de glucosa, sacarosa, fructosa y sorbitol (Uzenik *et al.*, 2008). La CSS observada en la Figura 9a demuestra que el efecto de las auxinas 2,4-DP y NAA no se diferenciaron del testigo, pero el tratamiento 3,5,6-TPA mostró una menor CSS (°Brix) respecto de los otros tratamientos. Sin embargo, este valor es mayor a los 17° Brix que se exige para la exportación de ciruelas europeas cv. D'Agen en fresco (Polanco, 2022), aunque siguen siendo valores menores a los reportados por Moreno *et al.* (2020) en un huerto de similares características destinado a la producción en fresco, donde obtuvieron una media de 21,7 °Brix. Al respecto en carozos no existe respuesta consistente entre el uso de auxinas y aumento de la acumulación de azúcares, pues según lo reportado en ciruelo japonés cv. Songold, no existieron diferencias en este parámetro para tratamientos con auxinas 2,4-DP (25 mg L⁻¹) y 3,5,6-TPA (15 mg L⁻¹) en comparación al testigo (Stern *et al.*, 2007c). Mientras en damasco cv. Canino se logró efecto significativo con el tratamiento 2,4-DP (25 mg L⁻¹), pero no entre la auxina 3,5,6-TPA (15 mg L⁻¹) y el testigo (Stern *et al.*, 2007a). En cítricos, de acuerdo a lo informado por Saavedra (2005) y Yildirim *et al.* (2010), el efecto de las auxinas, principalmente con el 2,4-DP y 3,5,6-TPA, demuestra mayor concordancia en la acumulación de azúcares. Por otra parte, parece más razonable en ciruelo europeo cv. D'Agen atribuir la mayor acumulación de azúcares a los niveles de carga, por la relación inversa entre carga frutal y CSS, los cuales explicarían en cierta medida el resultado del testigo dada su menor carga frutal (Tabla 10), no así el de las otras auxinas (Chaar & Sánchez, 2010).

En cuanto al parámetro de acidez, este disminuye conforme avanza la temporada dado que los ácidos son utilizados como sustrato durante la respiración del fruto (Tucker, 1996; Valero

& Serrano, 2013). En el caso particular del ciruelo europeo, el ácido málico es predominante, seguido del shikímico y fumárico (Uzenik *et al.*, 2008). En cuanto a los resultados presentados en la Figura 9b, muestran inconsistencia entre los tratamientos de aplicación de auxinas, puesto que el 2,4-DP y NAA no se diferenciaron del testigo. Mientras el tratamiento 3,5,6-TPA obtuvo un valor mayor en 17% de acidez a cosecha en comparación al resto de los tratamientos, lo que demuestra que el efecto de esta auxina retrasó la disminución de acidez en el fruto (Figura 9b). Lo anterior difiere de otros resultados, en ciruelo japonés cv. Songold la auxina 3,5,6-TPA no tuvo efecto sobre este parámetro cuando se comparó con el testigo (Stern *et al.*, 2007c).

La relación CSS/AT tuvo mejor respuesta en el tratamiento 2,4-DP, lo cual estaría influenciado en mayor medida por la acumulación de azúcares en desmedro de la pérdida de acidez durante la madurez (Figura 9c). Es así como el tratamiento 2,4-DP obtuvo mayor dulzor y menor acidez, en contraste, el tratamiento 3,5,6-TPA presentó frutos más ácidos y con menor dulzor, que se traduce en 26,8% menos sabor en relación al tratamiento 2,4-DP. Al respecto, Uzenik *et al.* (2008) describieron este parámetro como un buen indicador de madurez y de sabor de la ciruela europea.

Respecto al I_{AD} , se confirmó lo observado durante el seguimiento en campo, donde el parámetro respondió mejor al efecto del tratamiento 3,5,6-TPA. Adicionalmente, el comportamiento del I_{AD} fue visualmente similar a lo observado en cuanto al patrón de pérdida de firmeza no destructiva y destructiva, y al de la disminución de la tonalidad (h°). En ciruelo cv. D'Agen se ha probado la relación del I_{AD} respecto a la pérdida de firmeza destructiva (N) y el aumento de la CSS (Infante *et al.*, 2011), pero no se ha comprobado su relación firmeza no destructiva y la tonalidad.

Tamaño de árbol

La interceptación de la radiación solar es mayoritariamente función del desarrollo de la copa (Cabrera, 2006), dada la relación que existe entre *fPARi* e índice de área foliar (IAF) (Robinson & Lakso, 1991; Wünsche *et al.*, 1996). Asimismo, la *fPARi* es determinante en la productividad del huerto por su relación lineal con la fotosíntesis (Wünsche *et al.*, 1996), viéndose afectada por el tamaño del árbol, la forma de éste (altura y ancho), densidad de plantación, sistema de conducción y la densidad del follaje de la copa (Robinson & Lakso, 1991). Al respecto, los resultados de los tratamientos con aplicaciones tardías de auxinas demostraron un aumento significativo de la *fPARi* en comparación a los tratamientos 2,4 DP y testigo, como se presenta en la Figura 10.

Este efecto podría atribuirse a la interacción de las auxinas con otros mensajeros, especialmente las citoquininas (Di Benedetto *et al.*, 2015). La regulación cruzada entre estas hormonas, a partir de un mecanismo de retroalimentación positiva, sugiere que las auxinas estimulan la biosíntesis de citoquininas (Jones & Ljung, 2011), respaldando la observación de resultados positivos en el desarrollo foliar.

Un estudio realizado por Mollinari (2018) investigó la combinación de ácido indol acético (AIA) y 6-Bencilaminopurina (BAP) en *Impatiens hawkeri* Bull. Los resultados mostraron un incremento significativo en múltiples parámetros de crecimiento de la hoja, como el área foliar total, la tasa de expansión de área foliar (RLAE, sigla en inglés) y la relación de área foliar (RLA, sigla en inglés). Se evidenció igualmente un aumento en el grosor foliar ($>13,19 \mu\text{m hoja}^{-1}$) y proporción relativa de los espacios intercelulares ($<20\%$). También, se observa que utilizar auxinas de síntesis durante momentos específicos de la fase I de crecimiento de fruto, como el brote 15 cm y el inicio de endurecimiento de carozo, puede ser una estrategia efectiva para reducir la competencia por asimilados entre estructuras reproductivas y vegetativas de la planta (Yoshikawa *et al.*, 1988; Stern *et al.*, 2007c).

Asimismo, el tamaño de los árboles y menor densidad de plantación podrían tener un efecto positivo en el incremento de la *fPARi* para los tratamientos con auxinas. Según Mesa (2007)

en manzano (*Malus domestica* L.), se observó que los árboles de mayor tamaño interceptan más radiación fotosintéticamente activa que árboles más pequeños, y una menor densidad de plantación favorece el desarrollo de la copa al disminuir la competencia intraespecífica por los recursos disponibles (Robinson & Lakso, 1991).

Finalmente, es importante mencionar que la edad de los árboles en el ensayo (25 años) puede influir en la *fPARi*, ya que, de acuerdo a investigaciones anteriores en manzano, la fracción de PAR interceptada tiende a permanecer constante a medida que los árboles envejecen (Robinson & Lakso, 1991).

Se registró una reducción inicial en la *fPARi* al inicio de la temporada en relación con el tratamiento 2,4-DP, posiblemente debido a la aplicación temprana de dicho compuesto. A pesar de que los valores de *fPARi* se incrementaron más tarde, se plantea que la fecha de aplicación tuvo impacto en la traslocación de reservas hacia los frutos en crecimiento en lugar de los brotes, lo cual retrasó su crecimiento debido a la menor disponibilidad de reservas (Miller, 1987; Yoshikawa *et al.*, 1988; Agustí & Almela, 1991; Fichet, 2011). Estos hallazgos son consistentes con investigaciones anteriores que señalan que la auxina de síntesis 2,4-DP afectó el crecimiento vegetativo en diversas variedades frutales de damasco (Agustí *et al.*, 1994) y duraznero (Agustí *et al.*, 1993; Yoshikawa *et al.*, 1988).

Carga frutal

La mayor carga frutal, consistente en todas sus expresiones reportada en los tratamientos con las auxinas 2,4-DP, NAA y 3,5,6 TPA, aunque esta última auxina no obtuvo resultados significativos respecto a su carga frutal cuando se estimó en frutos m^{-2} *fPARi* (Tabla 10).

El incremento en la carga frutal se atribuye a los efectos positivos de las auxinas sobre la cuaja de los frutos (Guardiola, 1995). Entre otras razones, porque las auxinas influyen en la germinación del tubo polínico, favoreciendo la fecundación cuando se aplican tempranamente en la temporada, como se observó en el caso del 2,4-DP (Zhang & O'Neill, 1993; Guardiola, 1995; Gil, 2012). Por otro lado, las auxinas de síntesis cuando se aplican en etapas posteriores de desarrollo del fruto, como caída de chaqueta y cuando el brote tiene 15 cm, actúan inhibiendo la

acción del etileno en las zonas de abscisión del fruto, lo que contribuye a una mayor retención de los frutos (Luckwill, 1994; Fichet, 2019), lo que explicaría el aumento de la carga frutal en el tratamiento NAA, aunque es importante señalar que este efecto inhibitorio sobre la abscisión de frutos no sería exclusivo de NAA, ya que la auxina 2,4-DP también podría haber experimentado un efecto similar durante la caída fisiológica de frutos, dado que esta auxina aún se encontraba activa. Lo anterior es consistente con hallazgos similares en naranjo cv. Valencia, donde la aplicación de la auxina 2,4-DP en diferentes concentraciones (50 mg L⁻¹, 100 mg L⁻¹ y 150 mg L⁻¹) después de la plena floración resultó en una retención significativamente mayor de frutos en la cosecha en comparación con el grupo de control (Yıldırım *et al.*, 2010). Similar efecto fue reportado en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dasehri, donde aplicaciones con la auxina NAA en concentraciones de 20 mg L⁻¹ y 40 mg L⁻¹ en frutos de 5–6 mm de tamaño demostraron eficacia en la retención de frutas, lo que resultó en una carga frutal más alta durante la cosecha (Anshuman *et al.*, 2017).

En relación a la auxina 3,5,6-TPA, en comparación con los otros tratamientos de auxinas, se produjo una reducción significativa en la carga frutal (frutos*m⁻²fPAR) (Tabla 10). Este fenómeno puede explicarse por dos razones principales ocurridas durante la fase inicial de crecimiento de frutos. En primer lugar, la caída fisiológica de flores defectuosas y pequeños frutos que no fueron fertilizados o no experimentaron la doble fertilización (entre 15 y 30 DDPF) (Gil, 2012). Esta caída de estructuras florales y de frutos antecedió a la aplicación del tratamiento a inicios de endurecimiento de carozo. Además, otro aspecto a tener en cuenta para la disminución en la carga frutal, en este tratamiento, sería el efecto de raleo, registrado en diversas especies frutales, por la alta afinidad que mantiene la auxina 3,5,6-TPA con el etileno, tal como se ha indicado en estudios previos (Agustí & Almela, 1991; Saavedra, 2005; Fichet, 2019). Por lo tanto, es posible, en cierto modo, que la caída de frutos pequeños haya ocurrido ya que la aplicación de la auxina coincidió con el periodo recomendado para el raleo de frutos en ciruelo europeo cv. D'Agén (Reginato & Sotomayor, 2020). La concentración de etileno durante la etapa de endurecimiento de carozo es mayor en los frutos dado que el etileno es clave de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), la cual está involucrada directamente con la lignificación del

carozo (Valero *et al.*, 2003; Castillo *et al.*, 2012). Por ende, la aplicación de la auxina podría contribuir al aumento de la concentración de etileno endógeno en la zona de abscisión de frutos y generar un mayor raleo de estos.

Producción y eficiencia productiva

La mayor producción y eficiencia productiva presentada por todos los tratamientos donde se utilizaron auxinas (Tabla 11) coincide con el aumento de carga frutal, justificándose en lo descrito para nectarines (Reginato *et al.*, 2007), durazneros (Ojer *et al.*, 2009) y ciruelo japonés (Escobar, 2008) donde indican una relación positiva entre la carga frutal y productividad. Sin embargo, en este ensayo se observaron diferencias significativas en la eficiencia productiva para el tratamiento 3,5,6-TPA que difieren de su menor nivel de carga frutal cuando esta se expresó en frutos m^{-2} *fPARi* (Tabla 10), entonces su mayor producción y eficiencia productiva se explicarían en parte por su mayor fracción de PAR interceptado durante la temporada de crecimiento de fruto debido a la relación lineal de esta con la fotosíntesis (Wünsche *et al.*, 1996). Mientras otro factor importante a considerar para explicar su mayor producción y eficiencia productiva es el peso individual y tamaño de fruto, lo que se traduce finalmente en aumentos de rendimiento (Wünsche *et al.*, 1996). Así también, se evidenció en cerezo cv. Bing (Stern *et al.*, 2007b), y ciruelo japonés cv. Songold (Stern *et al.*, 2007c) por efecto de la misma auxina.

Respecto a lo anterior, el ANCOVA para ajustar la eficiencia productiva por medio de la covariable de carga frutal descartó que todas las auxinas tuvieran el mismo rendimiento en términos de eficiencia productiva. Así, la eficiencia productiva expresada en frutos m^{-2} *fPARi* y frutos cm^{-2} ASTT fue mayor y diferencial para el tratamiento 3,5,6-TPA, mientras que cuando se expresó en frutos m^{-2} fue mayor y diferencial para el tratamiento 3,5,6-TPA y NAA (Figura 11).

Distribución de calibres y valor de producción

La distribución de calibres presentada en la Figura 12 muestra que el tratamiento 3,5,6-TPA fue menos heterogéneo, y que presentó calibres más altos, dado por el incremento

significativo del diámetro ecuatorial. Estos resultados coinciden con los informados por Stern *et al.* (2007c) en ciruelo japonés cv. Royal Diamond, donde más del 50% de los frutos muestreados fueron calibre medio (40–45mm) y más del 40% calibres Large (mayor a 45 mm), el de mejor categoría para esta ciruela.

Por su parte el valor de producción fue mayor conforme mejoró la distribución de calibres y la producción por efecto de los tratamientos con auxinas, ya que calibres superiores tienen un mayor precio y retorno al productor (Razeto, 2006; Sepúlveda, 2022) (Figura 13). Además, los calibres grandes tienen la ventaja de ser competitivos en el mercado de fruta fresca dado que sufren un menor impacto en sus precios, manteniéndose altos y con un retorno positivo para el productor cuando se producen escenarios adversos por alzas de volúmenes exportados que generan una sobreoferta en el mercado de destino (Sepúlveda, 2022). Al respecto, se ha reportado que cuando el mercado de la ciruela cv. D’Agen en fresco ha experimentado una caída significativa del precio por la saturación del mercado, estos en promedio fueron de 0,3 US\$ kg⁻¹ (Polanco, 2022) muy debajo de los 0,8 US\$ kg⁻¹ para cubrir los costos de producción (Chavarría, 2019).

Conclusión

En conclusión, el efecto de las auxinas sobre el crecimiento de la ciruela cv. D'Agen depende de la época de aplicación del tratamiento, obteniéndose mejores resultados cuando se aplican tardíamente durante la fase I de crecimiento, debido a que, existe menor competencia entre frutos y brotes por asimilados. A inicios de endurecimiento de carozo, la auxina 3,5,6-TPA logró un mayor incremento de todos los parámetros de crecimiento durante la fase III (diámetro mejilla, sutura, polar y peso de fruto), lo que se tradujo en incremento en la producción (kg árbol^{-1}) y eficiencia productiva (kg m^{-2} kg cm^{-2} ASTT, kg m^{-2} *fPARi*); y aumento de calibres exportables a cosecha, con mayor retorno de producción ($\text{US\$ ha}^{-1}$). Por lo tanto, se acepta la hipótesis propuesta.

En futuras investigaciones, es necesario incorporar análisis histológicos y morfológicos en las hojas después desarrollo foliar, para determinar con precisión por qué los tratamientos con auxinas de síntesis aumentaron la *fPARi* y así correlacionar con los argumentos mencionados en la discusión. De esta manera, se podría evaluar la proporción de espacios intercelulares y cloroplastos, además del grosor y la superficie foliar, después de que cese el crecimiento vegetativo del árbol. Se aconseja además realizar evaluaciones ecofisiológicas de asimilación neta de CO_2 y fotosíntesis neta durante la temporada, con el fin de entender la influencia en la difusión y fijación de CO_2 medioambiental, así como en la producción de fotoasimilados. Además, para complementar el atractivo comercial del cv. D'Agen destinado a la exportación en fresco, se recomienda explorar tratamientos con nuevos reguladores de crecimiento (RC) como los brasinoesteroides. Estos pueden mejorar la madurez y calidad de los frutos en relación a la CSS, la acidez total y el color de cubrimiento, parámetros que en este ensayo no mostraron mejoras respecto al testigo.

Referencias

- Abdi, N., Holford, P., McGlasson, W. & Mizrahi, Y. (1997). Ripening behaviour and responses to propylene in four cultivars of Japanese type plums. *Postharvest Biology and Technology*, 12(1): 21–34. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)00041-0).
- Agustí, M. & Almela, V. (1991). Aplicación de fitorreguladores en citricultura. Primera Edición. *Editorial Aedos*. Barcelona, España. 269p.
- Agustí, M., Almela, V., Andreu, I., Juan, M. & Zacarias, L. (1999). Synthetic auxin 3, 5, 6-TPA promotes fruit development and climacteric in *Prunus persica* L. Batsch. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(5): 556–560. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511152>.
- Agustí, M., Juan, M., Almela, V. & Speroni, C. (1994). The effect of 2, 4-DP on fruit development in apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 57(1–2): 51–57. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90034-5).
- Agustí, M., Speroni, C., Juan, M. & Almela, V. (1993). Efecto del ácido 2, 4-diclorofenoxipropiónico sobre la calidad del fruto en melocotoneros y nectarinas. *Acta Horticulturae*, 9: 155–160.
- Anshuman S., S. Upadhyay. & R. G Upadhyay. (2017). Effect of plant growth regulators (NAA, 2, 4-D and GA3) on fruit retention and quality of mango cv. Dasehri. *International Journal of Tropical Agriculture*, 35(4): 967–974. https://serialsjournals.com/abstract/58221_31-.pdf.
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Ganapathi, T. R. & Nath, P. (2010). Ripening of fleshy fruit: molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*, 28(1), 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.002>.

- Cabrera, A. 2006. *Evolución del área foliar e interceptación solar de durazneros (Prunus persica (L. Batsch)) var. Ross a distintos niveles de carga frutal* [Memoria de título Ingeniero Agrónomo]. Universidad de Chile. https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/permalink/56UDC_INST/1uuvhmk/alma991006312689703936.
- Castillo, S., Serrano, M., Valer, D., Zapata, P.J., Guillen, F., Valverde, J.M., Martinez-Romero, D. & Diaz-Mula, H.M. (2012). *Aspectos fisiológicos en la variabilidad genotípica de ciruelas amarillas y purpuras* [Presentación digital]. Simposio internacional sobre ciruela y cereza organizado por la Universidad Miguel Hernandez de Elche, Madrid, España. 15-23. <https://diarium.usal.es/rodrigopere/files/2012/07/Plum-and-Sweet-Cherr-From-Field-to-Consumer.pdf>.
- Chaar, J. & Sánchez, E. (2010). Efecto de la carga frutal y del ambiente lumínico en ciruelo D'Agen (*Prunus domestica* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 42(1): 125-133. <https://bdigital.uncuyo.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=3512>.
- Chavarría, J. (2019). *Ficha de costo de la ciruela, Región de O'Higgins*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2p. <https://www.odepa.gob.cl/fichas-decosto/ficha-de-costo-de-la-ciruela-region-de-ohiggins>.
- Chile Prunes Association & Fedefruta. (2012). *Manual de calidad en los procesos de cosecha y secado a sol para ciruelas secas de Chile*. 44p. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/58658>.
- CIREN-ODEPA. (2020). *Catastro frutícola región Metropolitana: Principales resultados*. Centro de información de Recursos Naturales (CIREN), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 45p. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31688>.

- CIREN-ODEPA. (2021). *Catastro frutícola región de O'Higgins: Principales Resultados*. Centro de información de Recursos Naturales (CIREN), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 42p. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/33270>.
- Costa, G., Rocchi, L., Farneti, B., Busatto, N., Spinelli, F. & Vidoni, S. (2016). Use of nondestructive devices to support pre and postharvest fruit management. *Horticulturae*, 3(1): 12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010012>.
- Covarrubias, J. I. (2022). Calcio, pilar fundamental en la construcción de firmeza en cerezas. Revista Red Agrícola. Consultado el 18 diciembre de 2022. <https://redagricola.com/calcio-pilar-fundamental-en-la-construccion-de-firmeza-en-cerezas/>.
- Crisosto, C. H. & Valero, C. (2006). "Ready to eat": maduración controlada de fruta de hueso en cámara. *"Horticultura Global: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola"*, N° 190: 32-37. https://oa.upm.es/6284/1/Valero_30.pdf.
- Crisosto, C. H. (1994). Stone fruit maturity indices: a descriptive review. *Postharvest News and Information*, 5(6): 65-68.
- Cutting, G. M. & Bower, J.P. (1989). The relationship between basipetal auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado. *Scientia Horticulturae*, 41:27-34.
- Di Benedetto, A., Galmarini, C. & Tognetti, J. (2015). Effects of combined or single exogenous auxin and/or cytokinin applications on growth and leaf area development in *Epipremnum aureum*. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 90: 643-654. <https://dx.doi.org/10.1080/14620316.2015.11668727>.

- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, I., Tablada, M. & Robledo, C.W. (2020). Software estadístico InfoStat versión actualizada 29-09-2020. Grupo InfoStat, FCA, *Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.
- Escobar, C. (2008). *Efecto de la carga frutal sobre el crecimiento vegetativo, productividad y tamaño del fruto en ciruelo japonés (Prunus salicina Lindl.) variedad Friar* [Tesis Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Fruticultura]. Universidad de Chile.
- Fichet, T. (2019). Ampliando el conocimiento y usos de las auxinas de síntesis en frutales. *Revista Red Agrícola*, N°106: 78-82. <https://redagricola.com/ampliando-el-conocimiento-y-usos-de-las-auxinas-de-sintesis-en-frutales/>.
- Gil, G. (2012). Fruticultura: Regulación de la fruta. En: Gil, G (Ed.). *La Producción de Fruta, frutas de clima templado y subtropical* (267-358p.), Tercera Edición actualizada. Ediciones UC.
- Goren, R., Huberman, M. & Goldshmidt, E. E. (2004). Girdling: physiological and horticultural aspects. *Horticultural Reviews*, 30:1-36. <https://doi.org/10.1002/9780470650837.ch1>.
- Guardiola, J. (1995). Auxinas de síntesis y desarrollo del fruto. Estrategias de uso y mecanismos de acción. *Levante Agrícola*, 333: 288-298.
- Infante, R., Rubio, P., Contador, L., Noferini, M. & Costa, G. (2011). Determinación de la madurez de cosecha en la ciruela D'Agen a través del índice de absorción de clorofila. *Ciencia e Investigación Agraria*, 38(2): 199-20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202011000200004>.
- IQonsulting. (2023). Mercado internacional frutos de carozo: Anuarios de mercados 2023. *Capítulo 4: Ciruelas* (52-66p). *Ediciones Iqonsulting*. 72p. <http://www.iqonsulting.com/yb/>.

- Jones, B & Ljung, K. (2011). Auxin and cytokinin regulate each other's levels via a metabolic feedback loop. *Plant Signaling & Behavior*, 6: 901–904. <https://doi.org/10.4161%2Fpsb.6.6.15323>.
- Kader, A. A & Mitchell, F. G. (1989). Maturity and quality. Peaches, plums and nectarines growing and handling for fresh market. Oakland: *Univ. Calif. Div. Agric. and Natural Resources*, 191–196.
- Khan, A. S & Singh, Z. (2007). 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3): 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.005>.
- Lelièvre, J. M., Latchè, A., Jones, B., Bouzayen, M. & Pech, J. C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101(4): 727–739. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x>.
- Lester, D. R., Speirs, J., Orr, G. & Brandy, C. J. (1994). Peach (*Prunus persica* L.) endopolygalacturonase cDNA isolation and mRNA analysis in melting and nonmelting peach cultivar. *Plant Physiology*, 105: 225–31. <https://doi.org/10.1104/pp.105.1.225>.
- Luckwill, L. (1994). Crecimiento y maduración de los frutos. En Luckwill, L (Ed), *Reguladores de crecimiento en la producción vegetal* (75–86). Oikos-tau.
- Lurie, S., Friedman, H., Weksler, A., Dagar, A. & Eccher, P. (2013). Maturity assessment at harvest and prediction of softening in an early and late season melting peach. *Postharvest Biology and Technology*, 76: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.08.007>.
- McGuire, R. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12): 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>.
- Meier, U., Graf, M., Hess, W., Kennel, W., Klose, R., Mappes, D., Seipp, D., Stauss, R., Streif, J & Van den Boom, T. (1994). Phänologische entwicklungsstadien des kernobstes (*Malus*

- domestica* Borkh. und *Pyrus communis* L.), des steinobstes (*Prunus*-Arten), der Johannisbeere (*Ribes*-Arten) und der erdbeere (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Nachrichtenblatt Des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 46(7): 141–153. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00067136.
- Mesa, K. (2007). *Efecto de la interceptación de la radiación solar y carga frutal sobre la productividad y peso de fruto en manzanos Var Royal Gala* [Memoria de título Ingeniero Agrónomo]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/101872>.
- Miller, A. N., Walsh, C. S. & Cohen, J. D. (1987). Measurement of indole-3-acetic acid in peach fruits (*Prunus persica* L. Batsch cv. Redhaven) during development. *Plant Physiology*, 84: 491–4. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.491>.
- Molinari, J. (2018). Efecto del asperjado foliar con auxinas (AIA) y citocininas (BAP) sobre la acumulación de biomasa en Impatiens 'New Guinea' (Impatiens hawkeri Bull) [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Litoral]. Repositorio Institucional UNL: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/1179>.
- Moreno, C., Granger, C., Flores, C., Jara, R. & Manríquez, D. (2020). Ciruelas D'Agen para la exportación en fresco, el desafío de cosechar en la madurez adecuada. *Revista Frutícola COPEFRUT*, Vol 42, N°3:22–29. https://www.copefrut.com/wp-content/themes/copefrut/img/revistas/2020_N3.pdf
- Nunes, C., Rato, A. E., Barros, A. S., Saraiva, J. A. & Coimbra, M. A. (2009). Search for suitable maturation parameters to define the harvest maturity of plums (*Prunus domestica* L.): a case study of candied plums. *Food Chemistry*, 112: 570–574. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.007>.
- Ojer, M., Reginato, G. & Vallejos, F. (2009). Manejo de la carga frutal y productividad en duraznos conserveros. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 41(1): 65–76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837644010>.

- Pérez, J., Peppi, C. & Larraín, A. (1998). Influencia de la carga, fecha de cosecha, sombreado y aplicaciones de calcio sobre la calidad de la uva y la firmeza de las bayas del cv. Redglobe. *Ciencia e Investigación Agraria*. 25:175-184. <https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/8651/000362396.pdf>.
- Polanco, F. (27 de mayo de 2022). El renacer de la ciruela fresca. COAGRA. <https://coagra.cl/el-renacer-de-la-ciruela-fresca/>.
- Portal Frutícola. (3 de abril de 2019). Chile: Gran alza de exportaciones de ciruelas D'Agen a China provocan caída de los precios. PortalFruticola. <https://Chile: Gran alza de exportaciones de ciruelas D'Agen a China provocan caída de los precios - PortalFruticola.com>.
- Prasanna, V., Prabha, T. N. & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit ripening phenomena an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 47(1): 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>.
- Quintanilla, F. J, Covarrubias, J. I., Fichet, T., Garrido, M & Peppi, M. C. (2022). *Efecto de la aplicación de calcio y 2,4-DP sobre la acumulación de calcio en nectarines variedad "andesnectres"* [Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias]. Universidad de Chile. https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?context=L&vid=56UDC_INS T:56UDC_INST&tab=Everything&docid=alma991007862352003936.
- Razeto, B. (2006). Para entender la fruticultura. Cuarta Edición. 518p.
- Reginato, G. & Sotomayor J. P. (2020). Como cosechar para obtener fruta de calidad en ciruelo europeo. Área de Extensión e Innovación, UC Davis Chile. 2p. <https://www.plataformaextension.cl/archivos/2021/03/FT-Como-cosechar-para-obtener-fruta-de-calidad-en-ciruelo-europeo.pdf>.

- Reginato, G. (2009). Carga frutal y tamaño del fruto en ciruelo europeo. Boletín Técnico, Nodo Hortofrutícola Región de O'Higgins, Chile. Vol 1. 2 p. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/36952>.
- Reginato, G., Riquelme, C. & Robinson, T.L. (2015). *Raleo químico del manzano en Chile*. Serie Ciencias Agronómicas N° 24. Santiago: *Universidad de Chile*. 84p. ISBN: 978-956-19-0922-9.
- Reid, M. S. (2002). Maturation and maturity indices. En: Kader, A. A. (ed.) *Postharvest technology of horticultural crops* (pp. 55-62). 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California.
- Retamal, O. (2003). *Efecto de la aplicación de auxinas de síntesis, sobre producción y calibre en el fruto del naranjo (Citrus sinensis (L.) Osbeck) cv. Tardía de Valencia* [Memoria de título Ingeniero Agrónomo]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991003517819703936/56UDC_INST:56UDC_INST.
- Robinson, T. L. & Lakso, A. N. (1991). Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2):188-194. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.2.188>.
- Rojas, E. (2011). *Efecto de la carga frutal y la radiación solar sobre la productividad y tamaño del fruto en damascos "Patterson", "Castlebrite", "Robada" y "Supercot"* [Memoria de título Ingeniero Agrónomo]. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148472>.
- Saavedra, B. (2005). *Efecto del 2,4-D; 2,4-DP y 3,5,6-TPA, sobre el tamaño final, productividad y calidad de los frutos en naranjo (Citrus sinensis (L.) Osbeck) cv. Lanelate* [Memoria de título Ingeniero Agrónomo]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/55963>.

- Sepúlveda, J. C. (2022). Ranking de exportadoras basado en los retornos a productor: una herramienta para mejorar la gestión del fruticultor. *Revista Mundoagro*, N° 149: 30–33. <https://mundoagro.cl/ranking-de-exportadoras-basado-en-los-retornos-a-productor-una-herramienta-para-mejorar-la-gestion-del-fruticultor/>.
- Sotomayor, J. P. (2018). El adiós de calibre chicos en ciruela para deshidratado. *Revista Red Agrícola*, N° 95: 78–82. <https://redagricola.com/adios-los-calibres-chicos-ciruela-deshidratado/>.
- Stern, R. A., Flaishman, M. & Ben-Arie, R. (2007a). The effect of synthetic auxins on fruit development, quality and final fruit size in “Canino” apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(2): 335–340. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512238>.
- Stern, R. A., Flaishman, M. & Ben-Arie, R. (2007c). Effect of synthetic auxins on fruit size of five cultivars of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Scientia Horticulturae*, 112(3): 304–309. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.032>.
- Stern, R. A., Flaishman, M., Applebaum, S. & Ben-Arie, R. (2007b). Effect of synthetic auxins on fruit development of “Bing” cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 114(4): 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.07.010>.
- Stover, E. W. & Greene, D. W. (2005). Environmental effects on the performance of foliar applied plant growth regulators: A review focusing on tree fruits. *HortTechnology*, 15(2): 214–221. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.2.0214>.
- Thomas, T. R., Shackel, K. A. & Matthews, M. A. (2008). Mesocarp cell turgor in *Vitis vinifera* L. berries throughout development and its relation to firmness, growth, and the onset of ripening. *Planta* 228, 1067–1076. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0808->.

- Tonutti, P., Bonghi, C., Ruperti, B., Battist Tornielli, G. & Ramina, A. (1997). Ethylene evolution and 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase gene expression during early development and ripening of peach fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122: 642–7. <https://doi.org/10.21273/JASHS.122.5.642>.
- Tucker, G.A. (1993). Introduction. In: Seymour, G.B., Taylor, J.E & Tucker, G.A. (eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1_1.
- Usenik, V., Kastelec, D., Veberič, R & Štampar, F. (2008). Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). *Food Chemistry*, 111(4): 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.057>.
- Usenik, V., Štampar, F & Veberič, R. (2009). Anthocyanins and fruit colour in plums (*Prunus domestica* L.) during ripening. *Food Chemistry*, 114(2): 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.083>.
- Valero, D. & Serrano, M. (2013). Growth and ripening stage at harvest modulates postharvest quality and bioactive compounds with antioxidant activity. *Stewart Postharvest Review*, 3(5): 40. <https://doi.org/10.2212/spr.2013.3.7>.
- Valero, D., Martínez-Romero, D., Valverde, J. M., Guillen, F. & Serrano, M. (2003). Quality improvement and extension of shelf life by 1-methylcyclopropene in plum as affected by ripening stage at harvest. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(3): 339–348. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00038-9).
- Vicencio, J. (2021). Boletín S2S Pronostico estacional y subestacional. Dirección Meteorológica de Chile. N°168: 7p. [Servicios Climáticos \(meteochile.gob.cl\)](http://serviciosclimaticos.meteochile.gob.cl).
- Westwood, M. N. (1993). *Temperate Zone Pomology: Physiology and Culture*, 3rd edition. Timber Press. 523p.

- Wünsche, J. N., Lakso, A. N., Robinson, T. L., Lenz, F. & Denning, S. S. (1996). The bases of productivity in apple production systems: The role of light interception by different shoot types. *Journal for the American Society for Horticultural Science*, 121(5):886–893. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.5.886>
- Yildirim, B., Yeşiloğlu, T., Incesu, M., Kamiloğlu, M. U., Çimen, B. & Tamer, Ş. (2012). Effects of 2,4-DP (2,4-dichlorophenoxypropionic acid) plant growth regulator on fruit size and yield of Valencia oranges (*Citrus sinensis* Osb.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 40(1): 55–64. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.604091>.
- Yoshikawa, F. T., Martin, G. C. & La Rue, J. H. (1988). Chemical growth regulator for peaches. *California Agriculture*, 42: 19–20.
- Zhang, X. S & O'Neill, S. D. (1993). Ovary and gametophyte development are coordinately regulated by auxin and ethylene following pollination. *The Plant Cell*, 5(4): 403–418. <https://doi.org/10.1105/tpc.5.4.403>.
- Ziosi, V., M. Noferini., G. Fiori., A. Tadiello., L. Trainotti., G. Casadoro. & G. Costa. (2008). A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3):319–329. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.017>.