

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AUXINAS DE SÍNTESIS EN EL TAMAÑO DE
FRUTO Y LA PRODUCTIVIDAD DE CIRUELO ‘D’AGEN’**

Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción
Frutícola

DAVID ALEJANDRO GUZMÁN BECERRA

Director de Tesis
GABINO REGINATO MEZA

Profesores consejeros
RODRIGO CALLEJAS RODRÍGUEZ
MARÍA CECILIA PEPPI

SANTIAGO - CHILE

2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AUXINAS DE SÍNTESIS EN EL
TAMAÑO DE FRUTO Y LA PRODUCTIVIDAD DE CIRUELO ‘D’AGEN’**

AFE presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias mención Producción
Frutícola

DAVID ALEJANDRO GUZMÁN BECERRA

	Calificaciones	Calificaciones
	(Memoria de Título)	(Tesis de Grado)
DIRECTOR DE AFE		
Gabino Reginato Meza	6,4	6,4
Ingeniero Agrónomo. Mg. Sc		
PROFESORES CONSEJEROS		
Rodrigo Callejas Rodríguez	6,3	6,3
Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.		
María Cecilia Peppi	6,0	6,0
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D..		

Santiago, Chile

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía Gabino Reginato por su confianza y oportunidad de trabajar con él. A Victor Beyá por su gran apoyo en los procedimientos de mi tesis, tanto en terreno como en mi desempeño profesional que sin su apoyo no habría logrado lo que he aprendido hasta el momento. A toda la gente que trabajaba en los campos donde desempeñé el estudio por su disponibilidad y buena disposición.

A mi familia, a mis padres Guadalupe y Nabor en especial por su apoyo incondicional desde el minuto uno, por sus preocupaciones y ganas de que sea un profesional. Mi hermano por su apoyo desde que era pequeño.

A mi polola Carla Salinas que siempre cree en mí, me acompaña en mis estudios y momentos importantes para lograr excelentes resultados, su ánimo y por darme fuerza cuando más lo necesito.

A mis compañeros de Universidad Rene, Diego, Bastian, Josse, Camila, Nicolas y Andres que siempre estaban para darme una mano y generaron un ambiente universitario que me permitió desempeñarme de excelente manera, en especial a mi amigo Carlos Rojas que me acompañó en mis evaluaciones de terreno y de laboratorio, por su apoyo cada vez que lo necesitaba.

ÍNDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
HIPÓTESIS	15
OBJETIVOS	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Lugar del estudio	16
Métodos	16
Evaluaciones	19
Crecimiento de frutos.....	19
Tamaño del árbol	19
Caída de frutos	20
Producción, tamaño de fruto y carga frutal.....	20
Madurez y calidad de la fruta.....	20
Relación diámetro/peso.....	21
Relación área foliar/peso de fruto	21
Residuos de reguladores de crecimiento.....	21
Análisis estadístico	21
RESULTADOS	23
Temporada 2018/2019, Chancón.....	23
Crecimiento de fruto	23
Tamaño del árbol	24
Productividad	25
Madurez y calidad de la fruta.....	26
Relación diámetro/peso.....	27
Distribución de calibres	28
Efecto de la carga frutal en el tamaño de fruto	29
Área foliar por fruto	31

Temporada 2019/2020, Santa Cruz	33
Crecimiento de fruto	33
Tamaño del árbol	33
Caída de frutos	34
Productividad	35
Madurez y calidad de la fruta.....	37
Distribución de calibres	39
Efecto de la carga frutal en el tamaño de fruto	39
Área foliar por fruto	41
Residuos de reguladores	42
DISCUSIÓN.....	44
CONCLUSIONES	47
LITERATURA CITADA.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos con diferentes auxinas de síntesis en ciruelo europeo 'D'Agen' en la localidad de Chancón; concentración y momentos fenológicos de aplicación. Temporada 2018-2019.....	17
Cuadro 2. Tratamientos con diferentes auxinas de síntesis en ciruelo europeo 'D'Agen' en la localidad de Santa Cruz; concentraciones y momentos fenológicos de aplicación. Temporada 2019-2020.....	18
Cuadro 3. Rango de diámetros para la separación de los frutos en calibres comerciales de exportación de ciruela D'Agen.	20
Cuadro 4. Evaluaciones realizadas en cada ensayo: Chancón y Santa Cruz.....	21
Cuadro 5. Tamaño de ciruelos europeos 'D'Agen' expresado como ASTT y fPARI, para diferentes tratamientos auxínicos.	24
Cuadro 6. Carga frutal expresada en diferentes unidades para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Chancón.	25
Cuadro 7. Peso medio, ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m ² PARI y frutos/cm ² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelos 'D'Agen', localidad Chancón.	25
Cuadro 8. Producción y productividad, ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m ² PARI y frutos/cm ² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Chancón.	26
Cuadro 9. Características del fruto a la cosecha, ajustados por la carga frutal (frutos/m ² PARI) como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Chancón.	26
Cuadro 10. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal (frutos/cm ² ASTT) como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos D'Agen, localidad Chancón.	27
Cuadro 11. Peso medio del fruto (g) y área foliar por fruto (cm ²) para cada tratamiento auxínico.	31
Cuadro 12. Tamaño de ciruelos europeos 'D'Agen', expresado como ASTT y fPARI, para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.....	34
Cuadro 13. Carga frutal expresada en diferentes unidades para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.	35
Cuadro 14. Peso medio de fruto, ajustado por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m ² PARI y frutos/cm ² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Santa Cruz.	36
Cuadro 15. Producción en fresco y productividad (cosecha para fresco y deshidratado), ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol y frutos/m ² PARI), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Santa Cruz.	36

Cuadro 16. Productividad (cosecha para fresco y deshidratado), ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/cm ² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo D'Agen, localidad Santa Cruz.....	37
Cuadro 17. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal como frutos/m ² PARi como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Santa Cruz.	38
Cuadro 18. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal como frutos/cm ² ASTT como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Santa Cruz.	38
Cuadro 20. Peso medio del fruto (g) y área foliar por fruto (cm ²) para tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.....	41
Cuadro 19. Residuos de reguladores en ciruela 'D'Agen' cosechada para fruto fresco y seco, en árboles tratados con diferentes auxinas de síntesis.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del vigor (NDVI) en el cuartel en donde se estableció el ensayo 2018-2019. Recuadro rojo sector donde se establecieron los tratamientos. Imágenes con resolución 10 x 10 metros obtenidas por el sensor MSI de Sentinel 2A.	17
Figura 2. Evolución del diámetro ecuatorial (mm) del fruto en función de los DDPF para diferentes tratamientos auxínicos. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).	23
Figura 3. Relación entre las expresiones de tamaño de árbol usadas, ASTT y PAR interceptado.	24
Figura 4. Peso del fruto (peso en g) como función del diámetro ecuatorial de fruto (mm).	27
Figura 5. Distribución de calibres de exportación en proporción de frutos (%) según el diámetro de fruto, normalizado por la carga frutal (frutos/cm ² ASTT), localidad Chancón. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).	28
Figura 6. Distribución de calibres de exportación en proporción de frutos (%) según el diámetro de fruto, normalizado por la carga frutal (frutos/m ² PARi), localidad Chancón. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).	29
Figura 7. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/m ² PARi) para diferentes tratamientos auxínicos.	30
Figura 8. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/cm ² ASTT) para diferentes tratamientos auxínicos.	30
Figura 9. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/árbol) para diferentes tratamientos auxínicos.	31
Figura 10. Tamaño del fruto (g) en función del AF/fruto (cm ²) para los diferentes tratamientos auxínicos, localidad Graneros.	32
Figura 11. Diámetro ecuatorial (mm) del fruto en función de las fechas de evaluación para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.	33
Figura 12. Caída de frutos previo a la cosecha (%) en ciruelos 'D'Agen' para diferentes tratamientos auxínicos.	34
Figura 13. Distribución de calibres de exportación, en proporción de frutos (%), según el diámetro del fruto, localidad Santa Cruz. *Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p < 0,05$).	39
Figura 14. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/árbol) para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.	40
Figura 15. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/cm ² ASTT) diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.	40

Figura 16. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/m ² PARI) para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.....	41
Figura 17. Tamaño del fruto (g) en función del AF/fruto (cm ²) para los diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.	42
Figura 18. Peso medio (g) en función de la relación fuente-sumidero (frutos/IAF) en ambas temporadas.	46

RESUMEN

El tamaño de fruto es una variable importante de considerar para la exportación de la mayoría de los frutales, y el raleo manual es una de las labores realizadas para mejorarlo, por la influencia directa que tiene sobre el tamaño de fruto. Adicionalmente se recomiendan otras prácticas para mejorar la distribución de los calibres de exportación, como el “anillado” o la aplicación de auxinas de síntesis. Durante las temporadas 2018/2019 y 2019/2020 se realizaron ensayos en árboles de ciruelo europeo ‘D’Agen’ ubicados en la localidad de Chancón (Rancagua) y Santa Cruz, respectivamente. El objetivo de los ensayos fue determinar el efecto de auxinas de síntesis en la productividad y el tamaño del fruto del ciruelo ‘D’Agen’. Para esto se seleccionaron árboles homogéneos, a los cuales, previo a la floración, se les realizó una poda diferenciada, dejando árboles con alta carga frutal (número de dardos por árbol) y árboles con baja carga frutal. En ambas temporadas, se aplicaron diferentes tratamientos con auxinas de síntesis (2,4-DP; 3,5,6-TPA y NAA) en diferentes momentos fenológicos y en distintas concentraciones, los cuales se contrastaron con un testigo sin aplicación.

En el primer estudio, el tratamiento de 75 mg L⁻¹ de 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo obtuvo el mayor aumento en el tamaño del fruto, respecto del resto de los tratamientos, alcanzando a cosecha frutos de 35,6 mm de diámetro ecuatorial (4 mm más que el tratamiento testigo); también la productividad normalizada por la carga frutal, por ASTT y PAR_im², presentó diferencias estadísticas significativas, siendo los tratamientos con las auxinas 2,4-DP; 3,5,6-TPA y NAA aplicado en endurecimiento de carozo los que presentaron mayor productividad. No se presentaron diferencias significativas en la firmeza ni en los sólidos solubles a cosecha.

En la segunda temporada, también los tratamientos de 75 mg L⁻¹ de 2,4-DP, aplicados durante el endurecimiento de carozo (inicio, mitad y final), obtuvieron el mayor aumento en el tamaño del fruto, alcanzando 3,3; 2,6 y 4,7 mm más que el tratamiento testigo, respectivamente. Este aumento numérico se tradujo en un incremento significativo en la productividad respecto del testigo, con un 22; 21 y 23 % más que este. Además modificaron la distribución de calibres, tanto en fresco como en seco, incrementando la proporción de frutos mayores a 36 mm.

El tamaño del fruto fue afectado negativamente por la carga frutal, mostrando una relación positiva con el área foliar por fruto. Existe un efecto claramente positivo en el uso de auxinas de síntesis para aumentar el tamaño de fruto de las ciruelas ‘D’Agen’.

Palabras clave:

área foliar/fruto, carga frutal, endurecimiento de carozo, *Prunus doméstica*.

ABSTRACT

Fruit size is an important variable to consider for the export of most fruit trees, and manual thinning is one of the tasks carried out to improve it, due to the direct influence it has on fruit size. Additionally, other practices are recommended to improve the distribution of export sizes, such as "ringing" or the application of synthetic auxins. During the 2018/2019 and 2019/2020 seasons, trials were carried out on European 'D'Agen' plum trees located in the town of Chancón (Rancagua) and Santa Cruz, respectively. The objective of the trials was to determine the effect of synthetic auxins on the productivity and size of the fruit of the 'D'Agen' plum. For this, homogeneous trees were selected, which, prior to flowering, underwent a differentiated pruning, leaving trees with high fruit load (number of darts per tree) and trees with low fruit load. In both seasons, different treatments with synthetic auxins (2,4-DP; 3,5,6-TPA and NAA) were applied at different phenological moments and in different concentrations, which were contrasted with a control without application.

In the first study, the treatment of 75 mg L⁻¹ of 2,4-DP applied in stone hardening obtained the greatest increase in fruit size, compared to the rest of the treatments, reaching 35,6 mm fruit harvest. of equatorial diameter (4 mm more than the control treatment); Also the productivity normalized by the fruit load, by ASTT and *PARim*², presented statistically significant differences, being the treatments with the auxins 2,4-DP; 3,5,6-TPA and NAA applied in stone hardening those that presented higher productivity. There were no significant differences in firmness or soluble solids at harvest.

In the second season, also the treatments of 75 mg L⁻¹ of 2,4-DP, applied during the hardening of the stone (beginning, middle and end), obtained the greatest increase in the size of the fruit, reaching 3,3; 2,6 and 4,7 mm more than the control treatment, respectively. This numerical increase translated into a significant increase in productivity with respect to the control, with 22; 21 and 23% more than this. They also modified the distribution of sizes, both fresh and dry, increasing the proportion of fruits larger than 36 mm.

Fruit size was negatively affected by fruit load, showing a positive relationship with leaf area per fruit. There is a clearly positive effect in the use of synthetic auxins to increase the fruit size of 'D'Agen' plums.

Keywords: leaf / fruit area, fruit load, stone hardening, *Prunus domestica*.

INTRODUCCIÓN

La producción de ciruela europea chilena es importante en el contexto mundial, siendo la exportación anual de ciruelas secas alrededor de 80.000 toneladas, con más de 80 mercados de destino en los 5 continentes, posicionándose el país como el segundo productor y el mayor exportador del mundo. La Región del Libertador Bernardo O'Higgins es la principal zona productora de Chile, con 7.777 ha plantadas, lo que demuestra el gran potencial económico que ha adquirido este frutal en Chile (ODEPA, 2017). En el año 2017, el volumen total de ciruelas deshidratadas exportadas desde Chile fue cercano a las 76.515 toneladas, con un retorno aproximado de US\$ 175 millones, lo que representa un alza de 9,1% respecto a las 70.105 toneladas registradas en 2016 y un retorno de US\$157,9 millones (ODEPA, 2018). En el año 2020, la exportación de ciruela deshidratada tuvo una caída del 20% respecto a 2019, alcanzando 65.000 toneladas exportadas y un retorno de USD 145 millones (FOB); dentro de los factores que pueden explicar esta caída son: la sequía, las caídas de frutos y que una gran parte de la producción se destinó a la venta como producto fresco (ODEPA, 2020), pues en 5 años, Chile pasó de exportar 3.000 toneladas de ciruela frescas 'D'Agen', a 33.000 toneladas en 2020, alcanzando una exportación de 1.374 contenedores. (Red Agrícola, 2020).

Así, en el último tiempo, la ciruela europea ha tomado mayor relevancia, no sólo por su producción de fruta seca sino también como producto fresco. Es así como, debido a su alto dulzor, se ha convertido en la segunda fruta más demandada por China, después de las cerezas, siendo la VI Región la primera en exportaciones (Portal del Campo, 2018). Las ventajas de la producción de esta fruta es que la cosecha ocurre posterior al término de la cosecha de las cerezas, permitiendo más semanas de empleo a los trabajadores y, a su vez, mayor uso de las plantas procesadoras de cerezas, dado que se utilizan las mismas líneas, máquinas e infraestructura, amortizando así la inversión (Red Agrícola, 2018). Sin embargo, como producto fresco, los requerimientos del mercado son más exigentes que para el seco, buscando ambas producir ciruelas de calibres grandes y así incrementar los retornos de la industria. Por lo mismo, la industria de la ciruela 'D'Agen' chilena debiera tender a mejorar la producción en términos de calibre y empezar a manejar los huertos para obtener fruta más grande, para mejorar el posicionamiento en el mercado mundial.

Por lo anterior, el tamaño de fruto se convirtió en una variable importante de considerar para la exportación en fresco de esta fruta, y el raleo de frutos es la labor para mejorarlo, por la influencia directa que tiene sobre el tamaño de fruto (Reginato *et al.*, 2014); en este frutal se realiza principalmente con la poda y secundariamente con raleo mecánico (*shakers*) o manual (Reginato, 2009). Adicionalmente, en frutales de carozo se recomiendan otras prácticas para mejorar el tamaño del fruto, como el "anillado" o la aplicación de auxinas de síntesis, lo que podría mejorar la distribución de los calibres de exportación.

Las auxinas fueron las primeras hormonas vegetales descubiertas, y están involucradas en numerosos procesos de crecimiento y desarrollo en plantas (Saini *et al.*, 2013; Sauer *et al.*, 2013), incluyendo la iniciación lateral de la raíz, la diferenciación del tejido vascular, la dominancia apical y las respuestas trópicas (Davies, 1995). Su estructura corresponde a un ácido orgánico que está compuesto de un anillo aromático y un grupo carboxilo. Son conocidas como las hormonas vegetales del crecimiento, ya que participan en la regulación de diversos procesos de crecimiento y desarrollo en plantas.

Por otra parte, existen compuestos de síntesis que se denominan reguladores de crecimiento, los cuales, a pesar de que difieren en su estructura química, presentan actividad biológica similar a las hormonas vegetales. De esta forma, se han desarrollado reguladores de crecimiento de efecto auxínico como, por ejemplo, el ácido naftalénacético (NAA), el ácido diclorofenoxiacético (2,4-D), entre otros, los cuales, dependiendo de sus concentraciones, pueden ser usados como: herbicidas, promotores del desarrollo de raíces adventicias, sincronización de la floración y cuaje de frutos (dependiendo del producto a utilizar) (Sauer *et al.*, 2013).

Entre los factores importantes a considerar en su aplicación se encuentran el regulador auxínico, su concentración y el momento fenológico, pues dependerá de la etapa de mayor actividad celular en el fruto (división o expansión celular). Al respecto, Agustí *et al.* (2003) obtuvieron resultados diferentes sobre el tamaño de fruto de níspero con 2,4-DP aplicado en 3 momentos fenológicos distintos (30-70% tamaño final de fruto), logrando un aumento de 3 mm por fruto. En cuanto a la concentración, Ben-Arie *et al.* (2007b) demostraron que las auxinas 2,4-DP y 3,5,6-TPA logran su efecto en el tamaño de fruto dependiendo de la concentración, alcanzando mayor tamaño de fruto con 15 mg L⁻¹, para 3,5,6-TPA, a una concentración menor que para el 2,4-DP (25 mg L⁻¹).

Adicionalmente, en níspero, el ácido naftalénacético (NAA) incrementó el tamaño final de la fruta a través de un efecto de raleo, reduciendo la competencia entre las frutas en desarrollo, al aplicarlo a una concentración de 20 mg L⁻¹; este tratamiento disminuyó la firmeza, pero mejoró los sólidos solubles y la coloración, generando así un adelanto de la cosecha (Agustí *et al.*, 2000). También, estudios realizados en ciruelos europeos ‘Stanley’ demostraron que el NAA, aplicado a una concentración de 40 mg L⁻¹, en floración, provoca una inducción de etileno 5 días después de haberse aplicado, provocando un efecto raleador (Gonkiewicz y Nosal, 2006).

El ácido 2,4-diclorofenoxi propiónico (2,4-DP) no induce síntesis de etileno y, por lo tanto, no ralea, pero sí produce aumento en el tamaño de fruto; por esta razón este regulador auxínico es conocido como de “engorde”; si es aplicado después de las caídas fisiológicas, aumenta el tamaño de los frutos (Fichet, 2017). Así, el 2,4-DP aplicado en *Prunus armeniaca* durante el endurecimiento del carozo, en una concentración de 25 mg L⁻¹, aumentó el diámetro del fruto en 4 mm respecto del control, manteniéndose esta diferencia hasta el final del desarrollo del fruto; también hubo un efecto positivo en el color de la fruta, como en otros estudios, además de un aumento en los sólidos solubles. Al aplicarse en una etapa posterior a la división celular del fruto, la respuesta no se debe a un mayor número de células, sino al aumento celular (Agustí *et al.*, 1994). También, respecto del momento de aplicación, Agustí *et al.* (2003), en níspero, al aplicar distintas concentraciones de 2,4-DP en diferentes momentos de la etapa de crecimiento de fruto, encontró que la concentración del regulador auxínico y la fecha de tratamiento fueron factores clave para el aumento en el tamaño del fruto, siendo la fecha el factor más importante; el número de frutos no se vio afectado, explicándose la respuesta por un aumento en el crecimiento celular, permitiendo un adelanto en la cosecha, aumento del color y disminución de la firmeza.

Otra auxina que tiene efectos similares en el tamaño del fruto es el 3,5,6-TPA, la que aplicada en endurecimiento de carozo aumenta el diámetro del fruto de duraznos en variedades estudiadas, al aumentar la concentración hasta 10 mg L⁻¹. La acción de esta auxina aumentó la actividad de la enzima ACC-Oxidasa y la síntesis de ACC, generando un adelanto en la maduración, mejorando el color del fruto (Agustí *et al.*, 1999). En otro estudio en *Eriobotrya japonica*, se aplicó una concentración de 15 mg L⁻¹, en la etapa III de crecimiento, observándose un

incremento significativo en el crecimiento de la fruta, aumentando en un 10% el diámetro en comparación con el tratamiento control. Esta acción auxínica se explicó por una reducción de la presión de turgencia de las células de la fruta, disminuyendo así el potencial hídrico del mismo, mejorando la absorción de agua y aumentando el contenido de carbohidratos. Al igual que en los otros estudios, hubo un efecto en la maduración, con tendencia a mejorar el color del fruto, logrando un color más intenso (Agustí *et al.*, 2016).

HIPÓTESIS

La aplicación exógena de las auxinas de síntesis incrementa el tamaño del fruto de ciruelo europeo 'D'Agen'.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de auxinas de síntesis en la productividad y el tamaño del fruto en ciruela D'Agen.

Objetivos específicos

Determinar el momento fenológico que responde mejor a la aplicación de auxinas de síntesis para aumentar el tamaño de fruto.

Determinar la respuesta del tamaño de fruto y la productividad a la carga frutal, expresada por fracción de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada.

Determinar la relación que existe entre el área foliar y el tamaño de fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

Se realizaron dos ensayos en ciruelos (*Prunus doméstica* L.) 'D'Agen', en dos localidades y temporadas distintas, ambos en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: durante la temporada 2018/2019, el ensayo se realizó en un huerto ubicado en la localidad de Chancón, Rancagua y en la temporada 2019/2020, un segundo ensayo se realizó en un huerto ubicado en la localidad Santa Cruz.

En ambos casos se usaron plantas sanas, libres de plagas y enfermedades. En Chancón se utilizaron árboles establecidos el año 2005, injertados sobre 'Marianna 2624', plantados a 5,5 x 3,5 m, sobre camellón; éstos se encuentran formados en copa, con orientación norte-sur y regados por goteo doble línea.

En la localidad de Santa Cruz se utilizaron árboles establecidos el año 2005, injertados sobre 'Marianna 2624', plantados a 5 x 4 m, sobre camellón; estos se encuentran formados en copa, con orientación norte-sur y regados por goteo doble línea.

Métodos

En el ensayo de Chancón se realizaron 5 tratamientos; cada tratamiento se aplicó a un grupo de 8 árboles, a los cuales se les realizó una poda invernal diferenciada, dejando 4 árboles con alta carga frutal (3200 dardos, aproximadamente) y 4 árboles con baja carga frutal (1800 dardos, aproximadamente), con el fin de descontar, *a posteriori*, el efecto de la carga frutal sobre la productividad y el tamaño medio de los frutos. Además, se consideraron árboles e hileras bordes, con el fin de disminuir el efecto de la posible deriva de los tratamientos. Previo al establecimiento de los tratamientos, se eligió el lugar más homogéneo del cuartel, mediante un análisis del vigor, mediante el índice NDVI, a partir de imágenes satelitales (Figura 1).

Los tratamientos correspondieron a la aplicación de 4 auxinas de síntesis, los cuales se contrastaron con un testigo sin aplicación; correspondieron a 4 productos comerciales en distintas concentraciones según el regulador auxínico, aplicados en distintos momentos fenológicos de acuerdo a otros estudios realizados en frutales de carozo (Cuadro 1). Como fuente de ácido naftalenacético se usó NAA-800; como fuente de 2,4DP se usó Stone Gross® y como fuente de 3,5,6 TPA se usó Maxim®.

Cuadro 1. Tratamientos con diferentes auxinas de síntesis en ciruelo europeo 'D'Agen' en la localidad de Chancón; concentración y momentos fenológicos de aplicación. Temporada 2018-2019.

Tratamientos	Momento Fenológico			
	Brotos de 10 cm	Brotos de 20 cm	Ramillete expuesto	Inicio endurecimiento de carozo
Testigo sin aplicación				
Ácido naftalenacético	16 mg L ⁻¹	16 mg L ⁻¹	--	--
2,4 DP-Ramillete expuesto	--	--	75 mg L ⁻¹	--
3,5.6 TPA- I.E.C	--	--	--	20 mg kg ⁻¹
2,4 DP- I.E.C	--	--	--	75 mg L ⁻¹

I.E.C: inicio de endurecimiento de carozo.

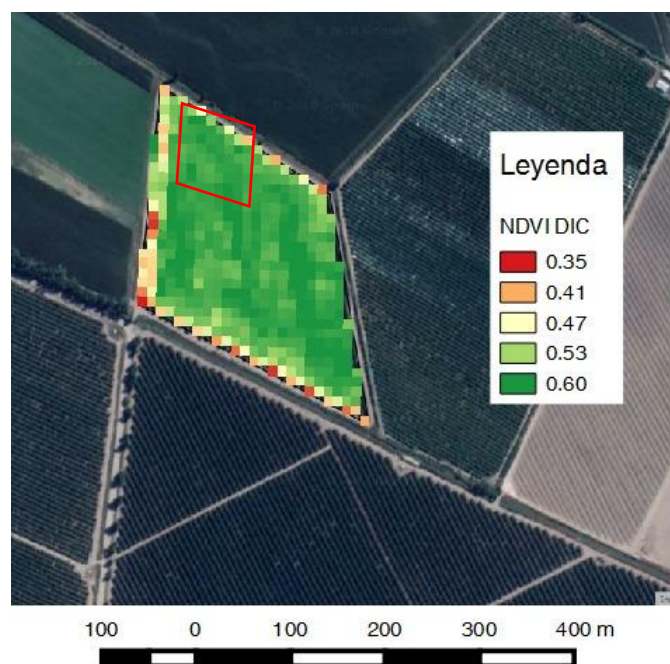


Figura 1. Distribución del vigor (NDVI) en el cuartel en donde se estableció el ensayo 2018-2019. Recuadro rojo sector donde se establecieron los tratamientos. Imágenes con resolución 10 x 10 metros obtenidas por el sensor MSI de Sentinel 2A.

En la localidad de Santa Cruz se realizaron 10 tratamientos, de 4 árboles cada uno, visualmente homogéneos en cuanto a tamaño de copa y ASTT. A los 4 árboles de cada tratamiento, se les realizó una poda diferenciada, dejando 2 árboles con alta carga frutal y 2 árboles con baja carga frutal, con el fin de descontar, *a posteriori*, el efecto de la carga frutal sobre la productividad y el tamaño medio de los frutos. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 3 auxinas de síntesis y un bioestimulante (extracto de plantas tropicales), asperjados en diferentes momentos fenológicos durante el endurecimiento de carozo (inicio, mitad y fin), los cuales se contrastaron

con un testigo sin aplicación (Cuadro 2). Como fuente de 2,4-DP se utilizó el producto comercial Stone Gross® Plus CE; para el ácido naftalenacético se usó NAA-800®; se usó el producto comercial Propulse®, que posee 2 auxinas de síntesis, ácido 2-naftiloxiacético (20% p/p) y ácido 4-clorofenoxiacético (2,5% p/p) (NOA y 4-CPA), además de ácido giberélico (1% p/p), y, finalmente, Auxym®, declarado como extracto de plantas tropicales con un complejo de elementos minerales y orgánicos, rico en fitohormonas, como auxinas (2,68 mg L⁻¹) y citoquininas (0,43 mg L⁻¹). Los tratamientos fueron asperjados con una motonebulizadora de espalda Solo® (Solo® Kleinmotoren GmbH, Alemania), con un mojamiento equivalente a 1.500 L ha⁻¹, hasta punto de goteo.

Dado que la lignificación del carozo ocurre desde la parte distal del fruto hacia la proximal (extremo pedicelar) en aproximadamente 4 semanas, se caracterizaron los estados fenológicos en los cuales se realizaron las aplicaciones. Para ello se categorizaron 100 frutos en cada momento de aplicación, los cuales fueron seccionados de manera transversal y longitudinal, para evaluar el grado de lignificación del endocarpio (carozo), categorizándolos en 5 etapas: 0/4: extremo distal del carozo con un leve grado de lignificación; 1/4: un cuarto del carozo endurecido, cavidad seminal parcialmente no acuosa; 1/2: la mitad del carozo endurecido, con la mitad de la cavidad seminal no acuosa; 3/4: tres cuartos del carozo lignificado y 90% de la cavidad seminal no acuosa; 1: carozo totalmente lignificado.

Cuadro 2. Tratamientos con diferentes auxinas de síntesis en ciruelo europeo 'D'Agén' en la localidad de Santa Cruz; concentraciones y momentos fenológicos de aplicación. Temporada 2019-2020.

Tratamientos	Etapa del endurecimiento de carozo (E.C.)		
	Inicio 07-11-2019	Mitad 14-11-2019	Fin 21-11-2019
Testigo sin aplicación			
2,4-DP- Inicio E.C	75 mg L ⁻¹	--	--
2,4-DP- Mitad E.C	--	75 mg L ⁻¹	--
2,4-DP- Final E.C	--	--	75 mg L ⁻¹
NAA- Inicio E.C	16 mg L ⁻¹	--	--
NAA- Mitad E.C	--	16 mg L ⁻¹	--
Auxym®- DB Mitad E.C	--	0,135%	0,135%
Auxym®- DA Mitad E.C	--	0,2%	--
Propulse®- DB Mitad E.C	--	125 mg kg ⁻¹ NOA*	--
Propulse®- DA Mitad E.C	--	200 mg kg ⁻¹ NOA *	--

E.C: Endurecimiento de Carozo; DB: Dosis Baja; DA: Dosis Alta.

*Propulse contiene, además: 4-CPA (auxina de síntesis) y GA₃.

Evaluaciones

De acuerdo a los ensayos, se realizaron diferentes evaluaciones, usando la misma metodología. En el Cuadro 4 se presenta el detalle de lo evaluado en cada ensayo.

Crecimiento de frutos

Se marcaron, posterior a la caída natural de frutos, 8 dardos de 1 año por árbol, en los cuales se hizo un seguimiento del diámetro del fruto, quincenalmente, desde la primera semana de enero hasta cosecha. Para la medición del diámetro ecuatorial se utilizó un pie de metro digital.

Tamaño del árbol

Se estimó el área de sección transversal de tronco, a partir del diámetro de tronco a 20 cm de la unión patrón-injerto. Con ese valor se calculó el área de sección transversal de tronco (ASTT) utilizando la fórmula (Eq.1) (Reginato, 2009):

$$\text{Área de sección de tronco (cm}^2\text{)} = \frac{(\text{Perímetro (cm)})^2}{12,56} \quad \text{Eq.1}$$

Adicionalmente, se determinó la interceptación de radiación de cada árbol con un ceptómetro (AccuPAR LP 80, Decagon Devices Inc; Wa, EE.UU.), previo a cosecha. Las mediciones se hicieron a 20 cm del suelo, 3 veces al día: a mediodía solar (MDS), y 2 y 4 horas antes o después del MDS. Éstas se hicieron de tal forma de que las evaluaciones cubrieran toda la superficie asignada al árbol, que se extiende desde el punto medio de la entre-hilera hacia el punto medio de la siguiente entre-hilera.

Para cada intervalo de medición de *PAR* se realizó una medición de la radiación incidente (*PAR*₀) en una zona del huerto libre de sombra. La radiación fotosintéticamente activa interceptada (*PAR*_i) se determinó por diferencia entre la radiación incidente (*PAR*₀) y la radiación no interceptada por el árbol (*PAR*_{ni}).

La fracción de *PAR* interceptada se calculó con el cuociente entre *PAR*_i y *PAR*₀, siendo:

$$fPAR_i = \frac{PAR_i}{PAR_0}$$

La fracción de radiación interceptada correspondió a un promedio ponderado de las tres mediciones realizadas durante el día, donde la del MDS fue ponderado por uno, y las de 2 y 4 horas antes o después del MDS se ponderaron por dos. Este valor se multiplicó por la superficie asignada a cada árbol y, de esta forma, se obtuvo el *PAR* interceptado en metros cuadrados (*PAR*_im²)

Caída de frutos

Previo a la cosecha para fresco, se evaluó, en 5 metros cuadrados por repetición, con un cuadrante, dentro del marco de plantación asignado, la cantidad de frutos en el suelo que cayeron. Luego, se proyectó a la superficie total asignada de cada árbol.

Producción, tamaño de fruto y carga frutal

Al momento de la cosecha, se pesó el total de frutos y se estimó el número de frutos, con el peso medio obtenido en una muestra de 100 frutos por árbol, en la cual, además, se pesó individualmente cada fruto para realizar una distribución de calibres. Adicionalmente, se calculó la productividad, expresada como kg m^{-2} *PARi*, y la carga frutal, expresada como frutos por m^2 *PARi*, considerando la totalidad de los frutos del árbol. Para estimar la conversión de ciruela fresca a ciruela deshidratada, se utilizó la muestra de materia seca de cada repetición, considerando un 3,12% de agua residual (basado en la temperatura de secado) y llevando a 18% de humedad, para luego calcular el factor de conversión en base a la fórmula (Eq.2). De esta manera, se clasificaron los frutos según los calibres de exportación, tanto en fresco como en seco (Cuadro 3).

$$\text{Factor de conversión (18\% humedad)} = \frac{(\text{MS} * (1 - 3,12)) / (1 - 0,18)}{\text{MF}} \quad \text{Eq.2}$$

Donde: MS= Materia seca; MF= Materia fresca muestra.

Cuadro 3. Rango de diámetros para la separación de frutos frescos y deshidratados en calibres comerciales de exportación de ciruela D'Agen.

Categoría en fresco	Rango de diámetros	Categoría en seco* (frutos/libra)
No exportable	<27 mm	>120
L	27 mm - 30 mm	100-120
XL	31 mm - 33 mm	90-100
J	34 mm - 36 mm	80-90
XJ	>36 mm	50-60

*En unidades de fruta por libra; Se convirtieron de fresco a seco, según el factor de conversión (18% humedad)

Madurez y calidad de la fruta

A la cosecha se evaluó la firmeza, en una muestra de 20 frutos por planta elegidos al azar de una caja cosechada, utilizando un penetrómetro (FT011 0-11 Lbs, Fruit Pressure Tester, Italia); a estos mismos frutos se les evaluó la concentración de sólidos solubles en el jugo de la pulpa, mediante el uso de un refractómetro (Pocket Pak-1, Atago, Japón). Por último, se evaluó el porcentaje de materia seca, a partir del peso fresco de los frutos cosechados. Para ello, cada muestra fue pesada en una balanza (modelo AQT 2600, Adam, Connecticut, EE. UU.), antes y

después de sometidas a secado en una estufa, a 70°C, hasta peso constante. Finalmente, se calculó el porcentaje de materia seca de los frutos con la Eq. 3:

$$\text{Materia seca (\%)} = (\text{Peso seco/Peso fresco}) * 100 \quad \text{Eq.3}$$

Relación diámetro/peso

Se realizó una relación diámetro: peso para estimar el peso de la fruta a partir de un determinado diámetro. Para ello se seleccionaron 20 frutos de diferente diámetro, a los cuales se les midió su diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso.

Relación área foliar/peso de fruto

Se estimó la relación área foliar: peso de fruto en los distintos árboles del ensayo, seleccionando 2 ramas por árbol. En estas ramas se determinó el peso promedio del fruto. Adicionalmente, se evaluó el área foliar de 15 dardos y de 5 ramillas de distinto tamaño por rama. Después de la caída de las hojas, en las mismas ramas, se contó y categorizó el número de elementos vegetativos (dardos y ramillas). Con esos datos se estimó el área foliar de la rama.

Residuos de reguladores de crecimiento

Al momento de la cosecha, tanto en fresco como para deshidratado, se colectaron muestras compuestas de 2 kg de fruta para los tratamientos 2,4-DP y Propulse para realizarle un análisis de residuos y trazas de i.a. Los análisis se realizaron en el laboratorio de servicios avanzados Analab (Santiago, Región Metropolitana) con los procedimientos y métodos analíticos recomendados para los activos (descritos en: www.eurlpesticides.eu; www.unitedchem.com; www.quechers.com), mediante cromatografía gaseosa (GC) y líquida (HPLC). Los resultados de los análisis se expresan en mg kg⁻¹ (mg i.a. kg⁻¹ de fruta completa).

Cuadro 4. Evaluaciones realizadas en cada ensayo: Chancón y Santa Cruz.

Evaluaciones	Chancón	Santa Cruz
Evolución del crecimiento de frutos	X	X
Tamaño del árbol	X	X
Productividad	X	X
Caída de frutos		X
Producción, tamaño de fruto y carga frutal	X	X
Madurez y calidad de la fruta	X	X
Relación diámetro/peso	X	
Relación área foliar/fruto	X	X
Residuos		X

Análisis estadístico

En ambas localidades se trabajó bajo el supuesto que el sector del ensayo es homogéneo. Los datos fueron analizados bajo un marco teórico de Modelos Lineales Mixtos y, en caso de detectar diferencias significativas, se utilizó la prueba de comparación múltiple DGC ($\alpha=0,05$).

Para las comparaciones productivas, se utilizó la carga frutal, expresada como frutos/árbol y frutos/m² de *PARI*, como covariable, en el caso de ser estadísticamente significativa. Se ajustó un modelo mixto de análisis de varianza para medidas repetidas en el tiempo para las categorías de calibre; en el caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó la prueba de comparación múltiple DGC ($\alpha=0,05$) (Di Rienzo *et al.*, 2002).

Se utilizó el programa de análisis estadístico InfoStat versión 2017.

RESULTADOS

Temporada 2018/2019, Chancón

Crecimiento de fruto

Desde el inicio de la evaluación del crecimiento de fruto (70 DDPF) y hasta cosecha (138 DDPF) el tratamiento de 75 mg L⁻¹ de 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo mostró el mayor tamaño de fruto, observándose una diferencia significativa con el resto de los tratamientos, alcanzando a cosecha frutos de 35,6 mm de diámetro de fruto, 4 mm más que el tratamiento testigo. El resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas con respecto al control (Figura 2) en ninguna de las fechas.

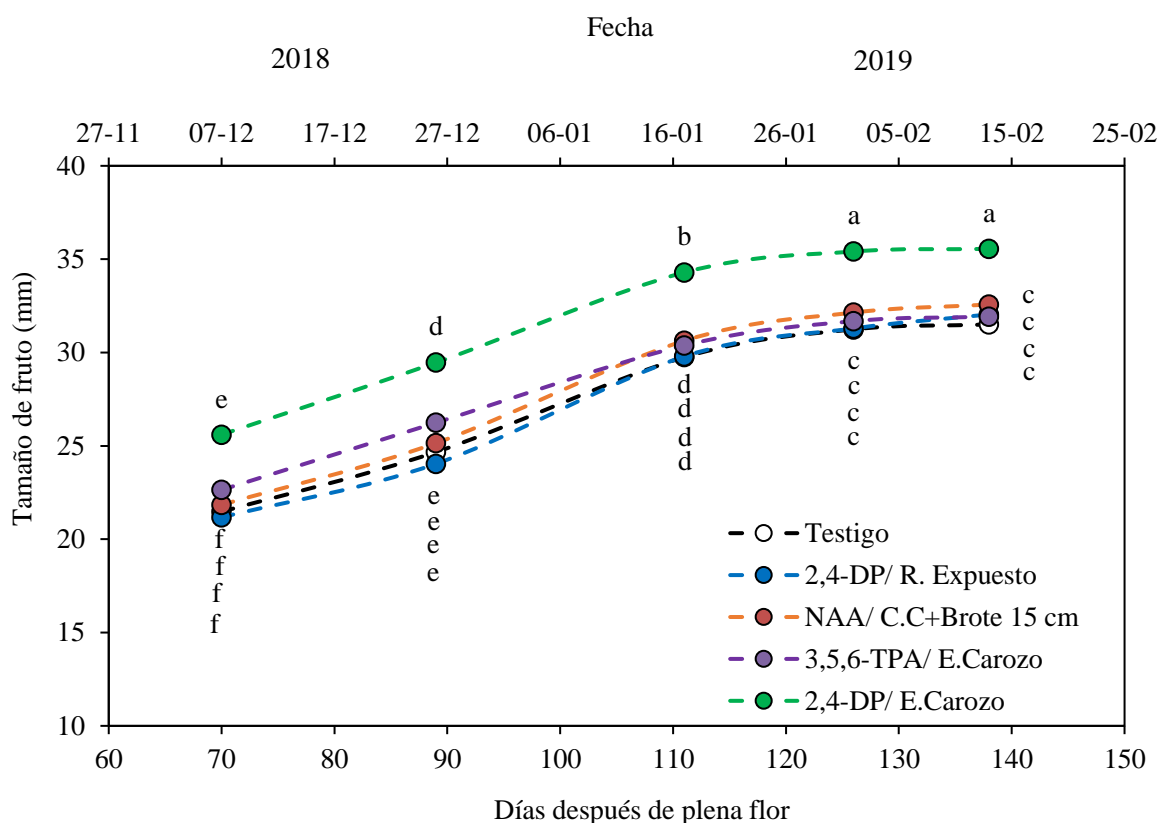


Figura 2. Evolución del diámetro ecuatorial (mm) del fruto en función de los DDPF para diferentes tratamientos auxínicos. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

Tamaño del árbol

El tamaño del árbol, expresado en área de sección transversal de tronco (ASTT), no presentó diferencias significativas entre tratamientos. En cambio, la $fPAR_i$ del tratamiento testigo y de 2,4-DP aplicado en ramillete expuesto presentaron la mayor fracción de PAR_i , sin diferencias significativas entre ellas, aunque el tratamiento 2,4-DP obtuvo un valor intermedio entre el testigo y la misma molécula aplicada en endurecimiento de carozo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tamaño de ciruelos europeos ‘D’Agen’ expresado como ASTT y $fPAR_i$, para diferentes tratamientos auxínicos.

Tratamiento	ASTT cm ²	$fPAR_i$	$fPAR_i$ en relación al testigo %
Testigo	282,5 ± 13	0,75 ± 0,01 a	100,0
2,4-DP/ R. Expuesto	311,6 ± 13	0,73 ± 0,01 ab	97,3
NAA/ C.C+Brote 15 cm	292,1 ± 13	0,66 ± 0,01 c	88,0
3,5,6-TPA/ E.Carozo	279,4 ± 13	0,65 ± 0,01 c	86,7
2,4-DP/ E.Carozo	316,5 ± 13	0,71 ± 0,01 b	94,7
Significancia	0,1494	<0,0001	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

Al relacionar las variables de tamaño de árbol, es decir ASTT (cm²) y PAR interceptado ($PARm^2$), mediante una regresión, se observa que no existe una relación entre ambas variables, con un valor de $R^2 = 0,0191$ (Figura 3).

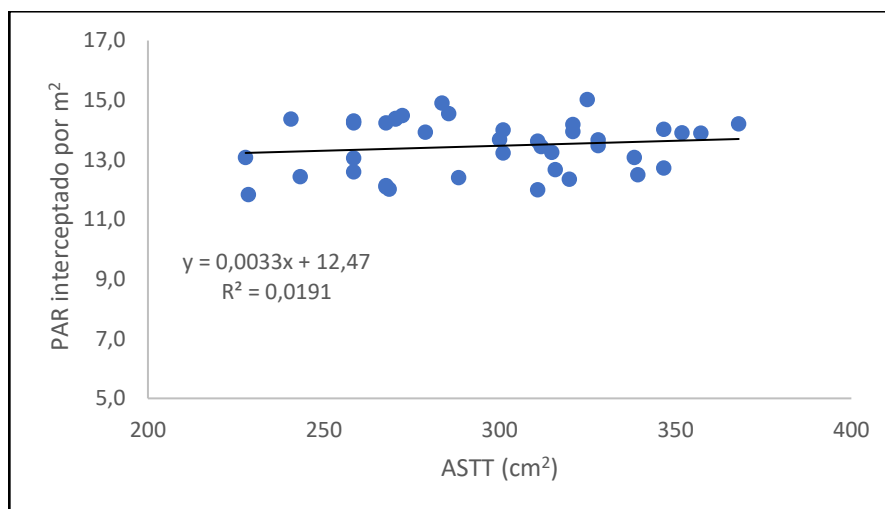


Figura 3. Relación entre las expresiones de tamaño de árbol usadas, ASTT y PAR interceptado.

Productividad

La carga frutal expresada en frutos/árbol, frutos/cm² ASTT y frutos/m² PARi (Cuadro 6), no presentó diferencias entre los tratamientos. En cuanto a la producción por árbol (kg/árbol), ajustada por la covarianza frutos por árbol, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo el de mayor producción (79,3 kg/árbol); la aplicación de NAA y 3,5,6-TPA no presentaron diferencias significativas con este (75,8 y 78,1 kg/árbol respectivamente) (Cuadro 8). Por su parte, la productividad también presentó diferencias estadísticas significativas, después de haber sido normalizada por la carga frutal como covariable, expresada en frutos por ASTT o PARm², siendo también 2,4-DP, 3,5,6-TPA y NAA los tratamientos que presentaron mayor productividad en ambos casos (cuadros 7 y 8).

Cuadro 6. Carga frutal expresada en diferentes unidades para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Chancón.

Tratamiento	Carga frutal										
	frutos/árbol			frutos/m ² PARi			frutos/cm ² ASTT				
Testigo	3274	±	387	226,9	±	53	a	11,6	±	1,5	a
2,4-DP/ R. Expuesto	2630	±	387	187,2	±	28	a	8,7	±	1,5	a
NAA/ C.C+Brote 15 cm	2872	±	387	226,6	±	28	a	10,1	±	1,5	a
3,5,6-TPA/ E.Carozo	4176	±	387	336,1	±	28	b	16,2	±	3,3	b
2,4-DP/ E.Carozo	2478	±	387	179,3	±	28	a	8,1	±	1,5	a
Significancia	0,2365			0,0212			0,0488				

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 7. Peso medio, ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m² PARi y frutos/cm² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelos 'D'Agen', localidad Chancón.

Tratamiento	Peso medio de fruto											
	----- g -----											
Testigo	23,2	±	0,6	c	22,7	±	0,6	c	23,2	±	0,6	c
2,4-DP/ R. Expuesto	23,7	±	0,7	c	23,4	±	0,6	c	23,6	±	0,6	c
NAA/ C.C+Brote 15 cm	24,7	±	0,6	bc	25,0	±	0,6	b	24,7	±	0,6	bc
3,5,6-TPA/ E.Carozo	26,1	±	0,7	ab	26,9	±	0,6	a	26,4	±	0,7	ab
2,4-DP/ E.Carozo	27,9	±	0,7	a	27,7	±	0,6	a	27,8	±	0,6	a
Significancia	0,0001				<0,0001				<0,0001			
CV	frutos/árbol				frutos/m ² PARi				frutos/cm ² ASTT			
Significancia	<0,0001				<0,0001				<0,0001			

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 8. Producción y productividad, ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m² PARi y frutos/cm² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Chancón.

Tratamiento	Producción		Productividad	
	kg/árbol	kg/m ² PARi	kg/cm ² ASTT	
Testigo	70,5 ± 1,9 c	5,0 ± 0,1 c	0,25 ± 0,01 b	
2,4-DP/ R. Expuesto	71,6 ± 1,8 bc	5,2 ± 0,1 bc	0,25 ± 0,01 b	
NAA/ C.C+Brote 15 cm	75,8 ± 1,9 ab	5,5 ± 0,1 ab	0,27 ± 0,01 ab	
3,5,6-TPA/ E.Carozo	78,1 ± 2,4 a	5,9 ± 0,2 a	0,27 ± 0,01 a	
2,4-DP/ E.Carozo	79,3 ± 2,0 a	5,8 ± 0,1 a	0,28 ± 0,01 a	
Significancia	0,0018	0,0007	0,0059	
CV	frutos/árbol	frutos/m ² PARi	frutos/cm ² ASTT	
Significancia	<0,0001	<0,0001	<0,0001	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Madurez y calidad de la fruta

La fruta cosechada de los árboles no presentó diferencias estadísticamente significativas en la firmeza ni en los sólidos solubles; sí existió diferencias en el % de materia seca, ajustada por la carga frutal expresada en frutos/m² PARi y frutos/cm² ASTT, siendo el tratamiento 2,4-DP/R. Expuesto menor que el tratamiento control, con un 18,9% y 19% de materia seca, respectivamente. El resto de los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos (cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Características del fruto a la cosecha, ajustados por la carga frutal (frutos/m² PARi) como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Chancón.

Tratamiento	Firmeza		Sólidos solubles		Materia seca	
	Libras		°Brix		%	
Testigo	6,4 ±	0,3	20,9 ±	0,4	20,4 ±	0,3 a
2,4-DP/ R. Expuesto	6,3 ±	0,3	19,9 ±	0,4	18,9 ±	0,3 b
NAA/ C.C+Brote 15 cm	6,3 ±	0,3	20,5 ±	0,4	20,5 ±	0,3 a
3,5,6-TPA/ E.Carozo	5,7 ±	0,3	21,4 ±	0,5	20,2 ±	0,3 a
2,4-DP/ E.Carozo	5,6 ±	0,3	21,4 ±	0,4	20,4 ±	0,3 a
Significancia	n.s.		n.s.		0,0021	
CV frutos/m ² PARi						
Significancia	0,0429		<0,0001		<0,0001	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05)

Cuadro 10. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal (frutos/cm² ASTT) como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos D'Agen, localidad Chancón.

Tratamiento	Sólidos solubles		Firmeza		Materia seca	
	°Brix		Libras		%	
Testigo	21,1 ±	0,4	6,3 ±	0,3	20,5 ±	0,3 a
2,4-DP/ R. Expuesto	20,0 ±	0,4	6,3 ±	0,3	19,0 ±	0,3 b
NAA/ C.C+Brote 15 cm	20,3 ±	0,4	6,4 ±	0,3	20,4 ±	0,3 a
3,5,6-TPA/ E.Carozo	21,2 ±	0,5	5,7 ±	0,3	20,0 ±	0,3 a
2,4-DP/ E.Carozo	21,5 ±	0,4	5,6 ±	0,3	20,8 ±	0,3 a
Significancia	n.s.		n.s.		0,0017	
CV frutos/cm ² ASTT						
Significancia	<0,0001		0,0396		0,0001	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

Relación diámetro/peso

Existe una relación polinómica entre el diámetro y el peso del fruto (g), con un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0,97, es decir, alto grado de ajuste (Figura 4).

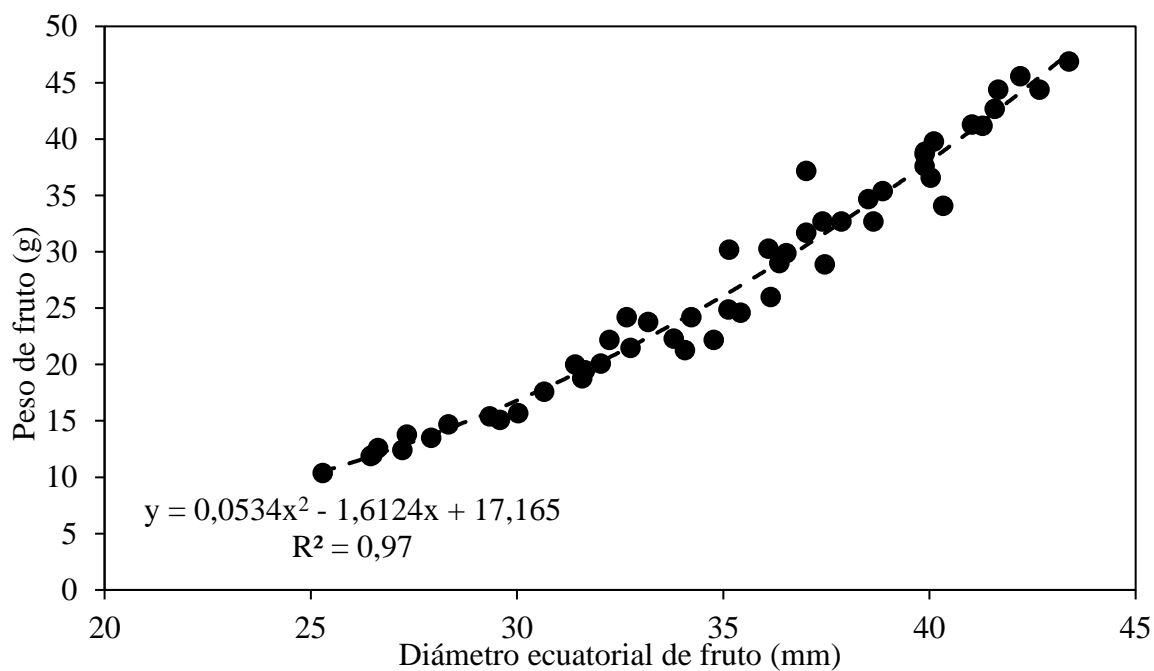


Figura 4. Peso del fruto (peso en g) como función del diámetro ecuatorial de fruto (mm).

Distribución de calibres

En cuanto a la distribución de calibres, ajustada por la carga frutal, tanto como en frutos/cm² ASTT (Figura 5) y frutos/m² PARI (Figura 6), el tratamiento que presentó la mayor proporción de frutos calibre XJ (36-39 mm) fue el 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa con los otros tratamientos de auxinas, pero sí con el tratamiento control; la categoría J (33-36 mm) no presentó diferencias significativas, pero sí en las categorías XL (30-33 mm) y L (27-30 mm), siendo el 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo el que tuvo la menor proporción entre los tratamientos. No se presentaron diferencias en la categoría no exportable, menor a 27 mm de diámetro ecuatorial. Los resultados de la distribución de calibres, al ajustarla por la carga frutal, como frutos/cm² ASTT o frutos/m² PARI, no difirieron estadísticamente.

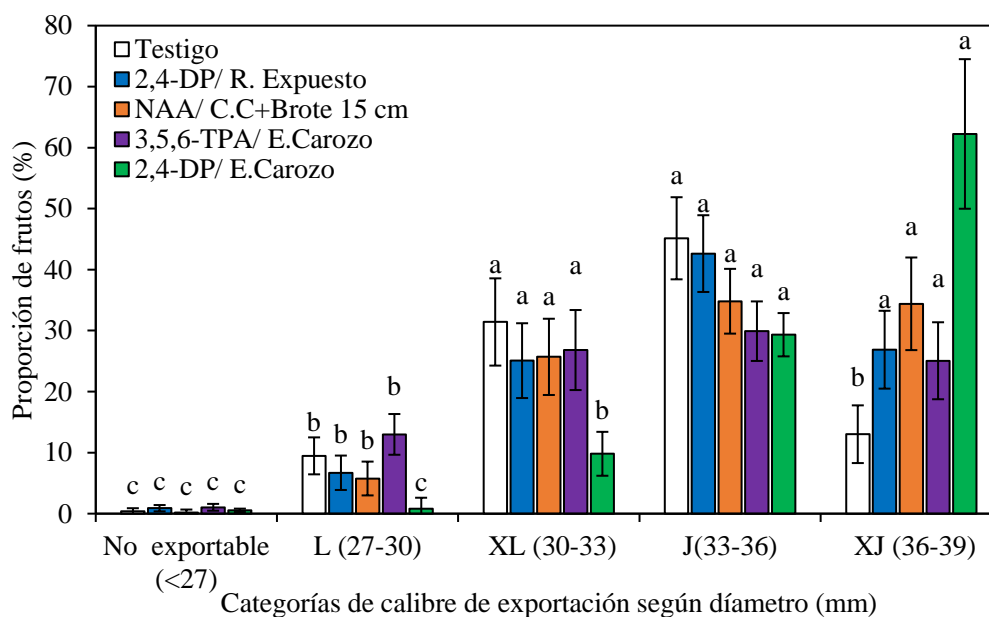


Figura 5. Distribución de calibres de exportación en proporción de frutos (%) según el diámetro de fruto, normalizado por la carga frutal (frutos/cm² ASTT), localidad Chancón. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

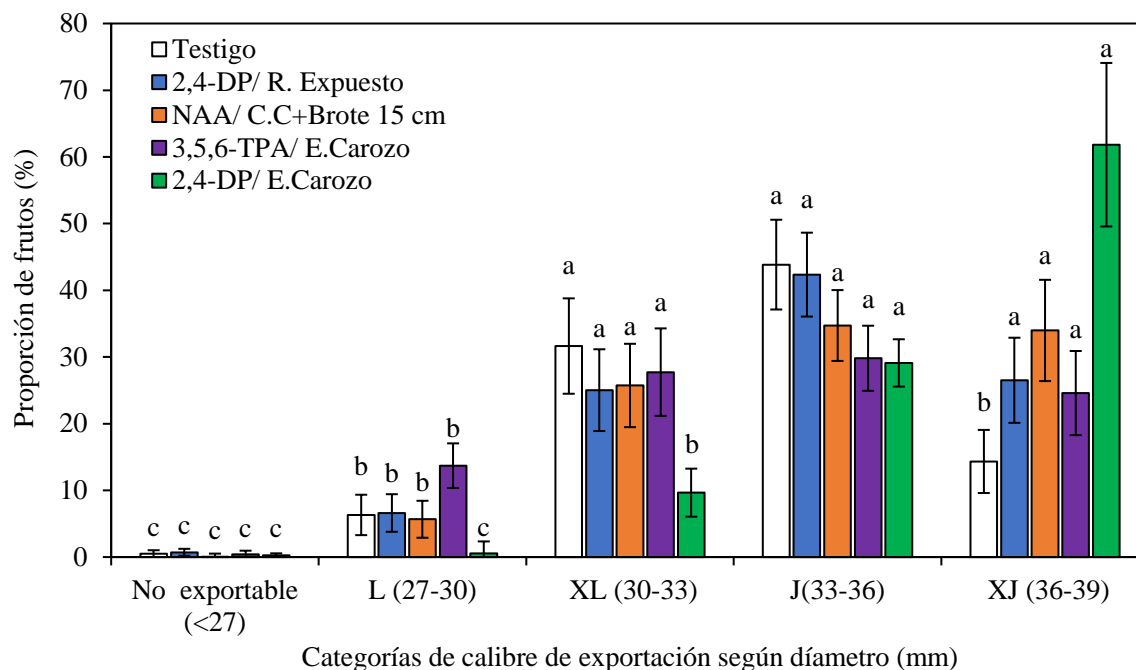


Figura 6. Distribución de calibres de exportación en proporción de frutos (%) según el diámetro de fruto, normalizado por la carga frutal (frutos/m² PARi), localidad Chancón. * Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de DGC ($p \leq 0,05$).

Efecto de la carga frutal en el tamaño de fruto

La carga frutal, expresada en frutos por metro cuadrado de PAR interceptado, mostró una relación lineal negativa en el tamaño de los frutos de ciruelo D' Agen (Figura 7). Al igual que para la carga frutal expresada en frutos/cm² ASTT y frutos/árbol (figuras 8 y 9). Sin embargo, al realizar un análisis estadístico comparativo de las pendientes, utilizando variables *dummy*, la carga frutal expresada en frutos/cm² ASTT, presentó diferencias significativas entre la pendiente del tratamiento NAA/CC+ brote 15 cm, con respecto de los tratamientos 2,4-DP/E. Carozo, 2,4-DP/R. Expuesto y 3,5,6-TPA/E. Carozo; esta respuesta de los tratamientos, al tener una pendiente menor, indica que la respuesta del tamaño del fruto al aumento de la carga frutal es menor (Figura 8).

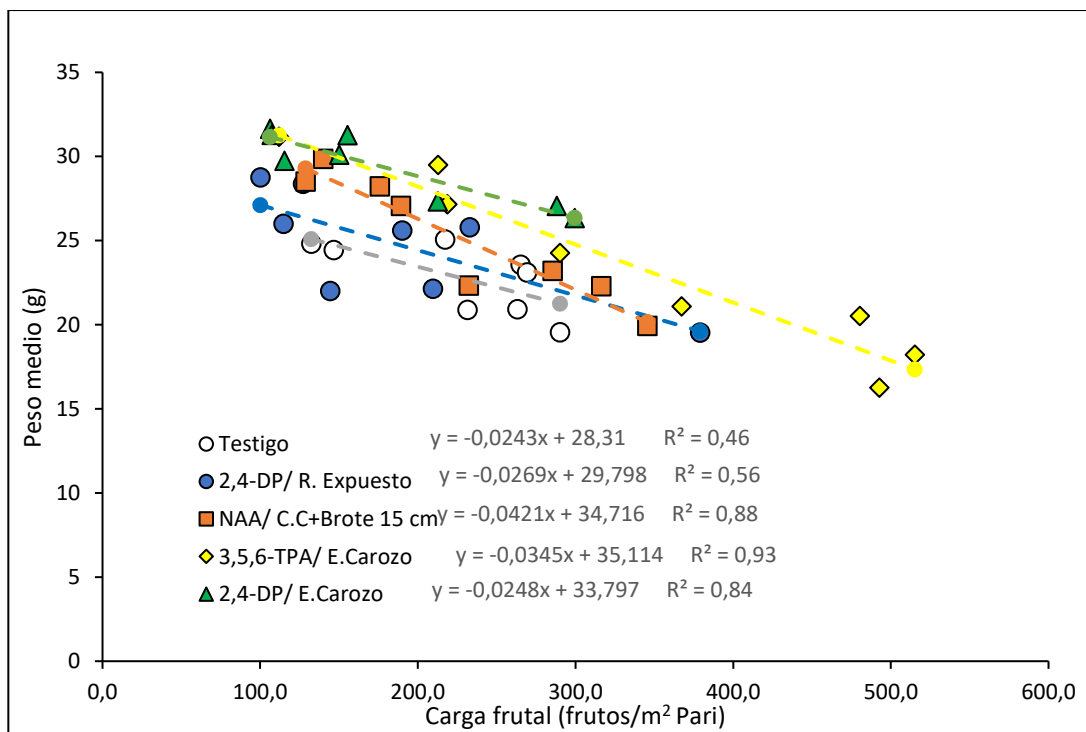


Figura 7. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/m² PARI) para diferentes tratamientos auxínicos.

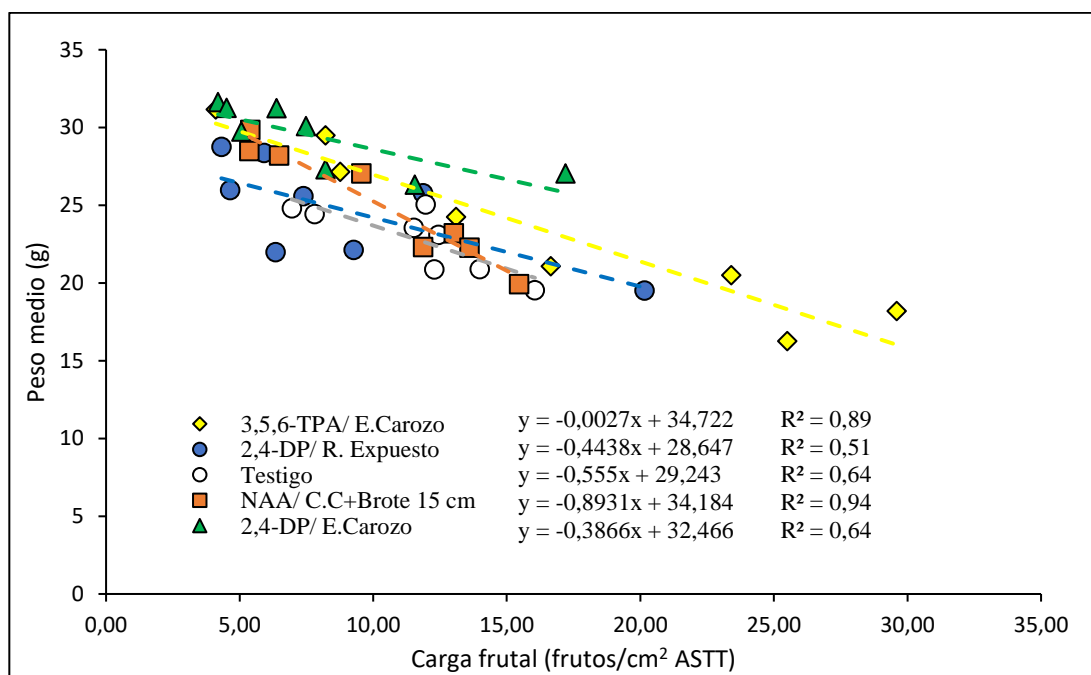


Figura 8. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/cm² ASTT) para diferentes tratamientos auxínicos.

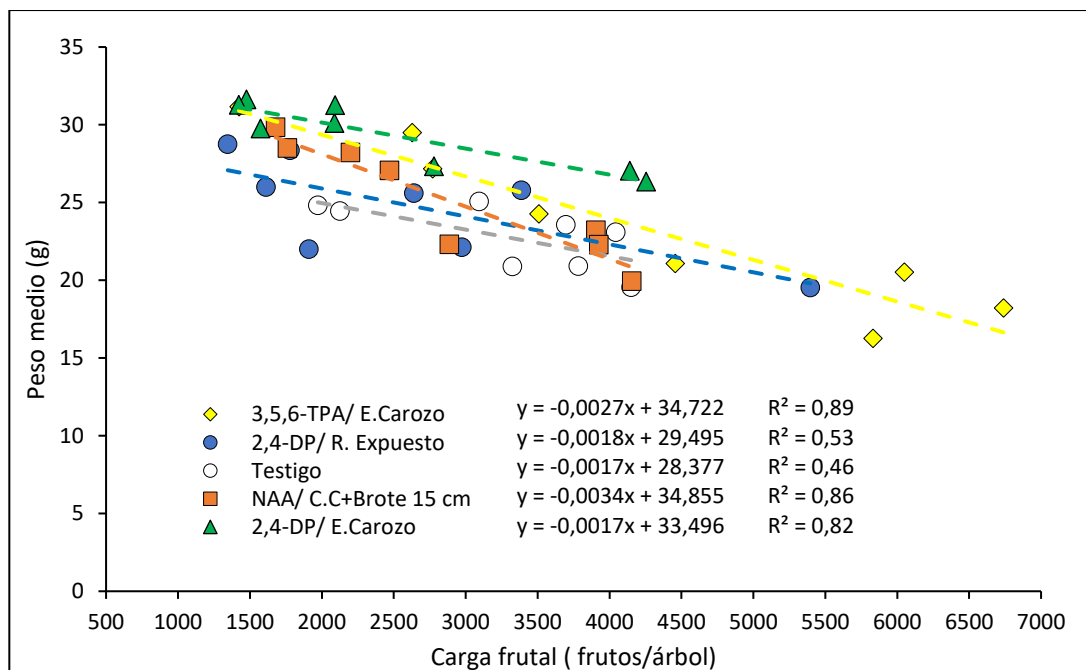


Figura 9. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/árbol) para diferentes tratamientos auxínicos.

Área foliar por fruto

Los distintos tratamientos auxínicos presentaron entre 222,1 y 327 cm² de área foliar por fruto, para pesos medios entre 22,8 y 29,3 g (tratamiento 2,4-DP/E.Carozo) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Peso medio del fruto (g) y área foliar por fruto (cm²) para cada tratamiento auxínico.

Tratamiento	Peso medio g	AF/Fruto cm ²
Testigo	22,8	278,5
NAA/ C.C+Brote 15 cm	25,2	216,3
2,4-DP/ E.Carozo	29,3	327,0
3,5,6-TPA/ E.Carozo	23,5	222,1
2,4-DP/ R. Expuesto	24,8	312,6

Respecto a la relación que existe entre el tamaño del fruto y el área foliar por fruto, se observa una relación exponencial, en la cual al aumentar el área foliar aumenta el tamaño del fruto, alcanzando un máximo para cada tratamiento (Figura 10). Se aprecia que hasta alrededor de 200 cm² de AF/fruto existe una respuesta similar entre los tratamientos; con área foliar superior a 200 cm² por fruto las diferencias con las auxinas de síntesis se manifiestan claramente.

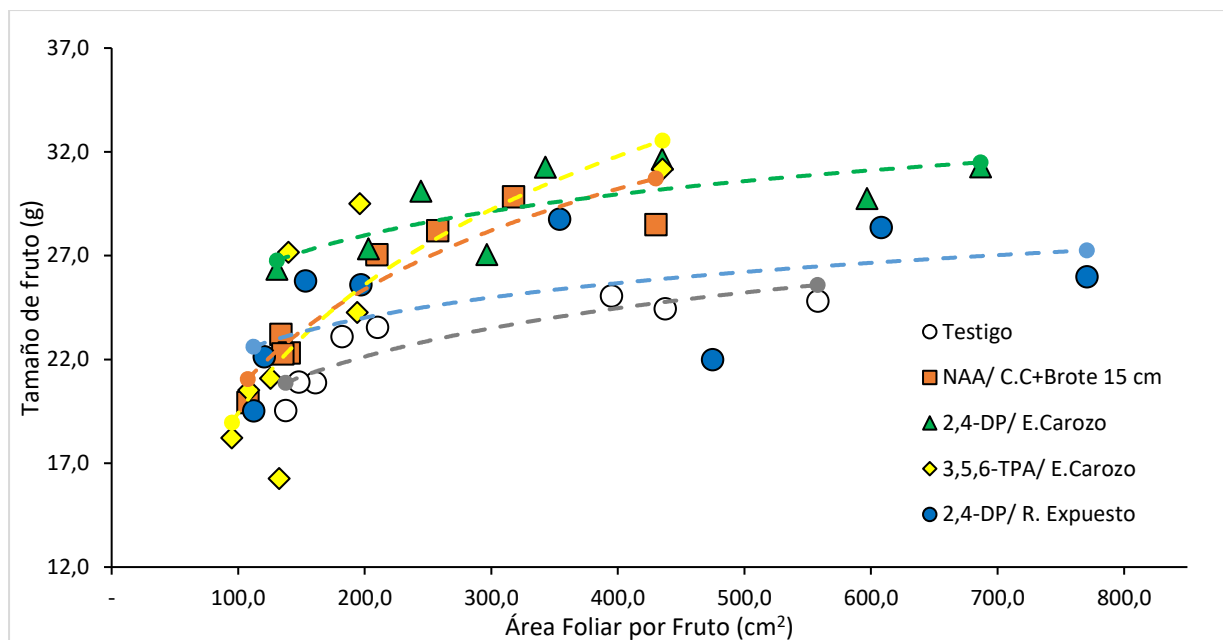


Figura 10. Tamaño del fruto (g) en función del AF/fruto (cm²) para los diferentes tratamientos auxínicos, localidad Chancón.

Temporada 2019/2020, Santa Cruz

Crecimiento de fruto

Al evaluar el crecimiento del fruto se observó que, a partir de 7 días después de la primera aplicación (14-11-2019) y hasta cosecha (24-01-2020), los tratamientos aplicados con 2,4-DP mostraron diferencias significativas en el diámetro del fruto. Los tratamientos de 2,4-DP aplicados a inicio y mitad de endurecimiento de carozo lograron las mayores diferencias de tamaño de fruto durante la temporada, alcanzando a cosecha 2,9 y 2,5 mm más que el testigo. Sin embargo, a cosecha, el tratamiento 2,4-DP aplicado al inicio de la etapa de endurecimiento de carozo logró el mayor diámetro de fruto, pero sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos (Figura 11).

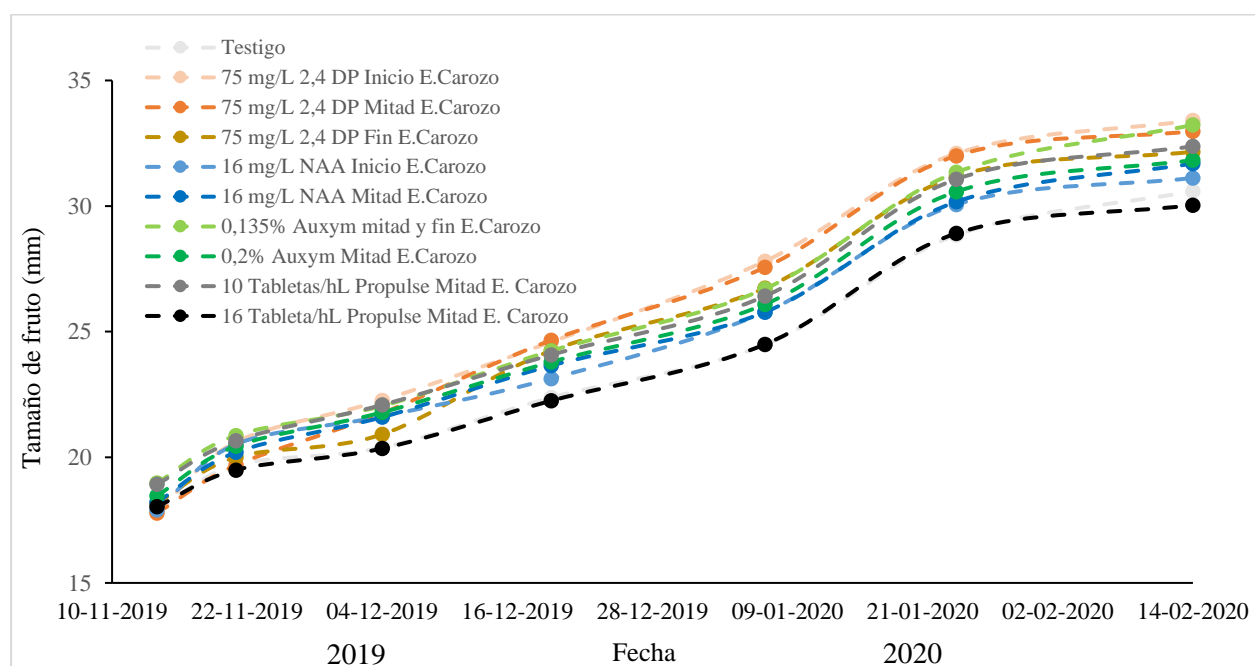


Figura 11. Diámetro ecuatorial (mm) del fruto en función de las fechas de evaluación para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Tamaño del árbol

El tamaño del árbol, expresado en área de sección transversal de tronco (ASTT) o *fPARI*, no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Tamaño de ciruelos europeos 'D'Agen', expresado como ASTT y *fPARI*, para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Tratamiento	ASTT	<i>fPARI</i>	<i>fPARI</i> en relación al testigo
	cm ²		%
Testigo	198,4 ± 19,92	0,59 ± 0,04	100,0
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.Carozo	247,8 ± 19,92	0,58 ± 0,04	98,3
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.Carozo	210,5 ± 19,92	0,61 ± 0,04	103,4
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.Carozo	221,3 ± 19,92	0,61 ± 0,05	103,4
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.Carozo	223,7 ± 19,92	0,63 ± 0,05	106,8
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.Carozo	231,7 ± 19,92	0,59 ± 0,05	100,0
0,135% Auxym mitad y fin E.Carozo	254,6 ± 19,92	0,59 ± 0,04	100,0
0,2% Auxym Mitad E.Carozo	241,8 ± 19,92	0,61 ± 0,05	103,4
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. Carozo	215,7 ± 19,92	0,59 ± 0,07	100,0
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. Carozo	231,2 ± 19,92	0,57 ± 0,05	96,6
Significancia	0,6544	0,9608	

Caída de frutos

No existió diferencias significativas entre los tratamientos en el porcentaje de frutos caídos previo a cosecha, sin embargo, aquellos tratamientos que aumentaron más el tamaño de fruto a cosecha presentaron una tendencia a mayor caída de frutos (Figura 12).

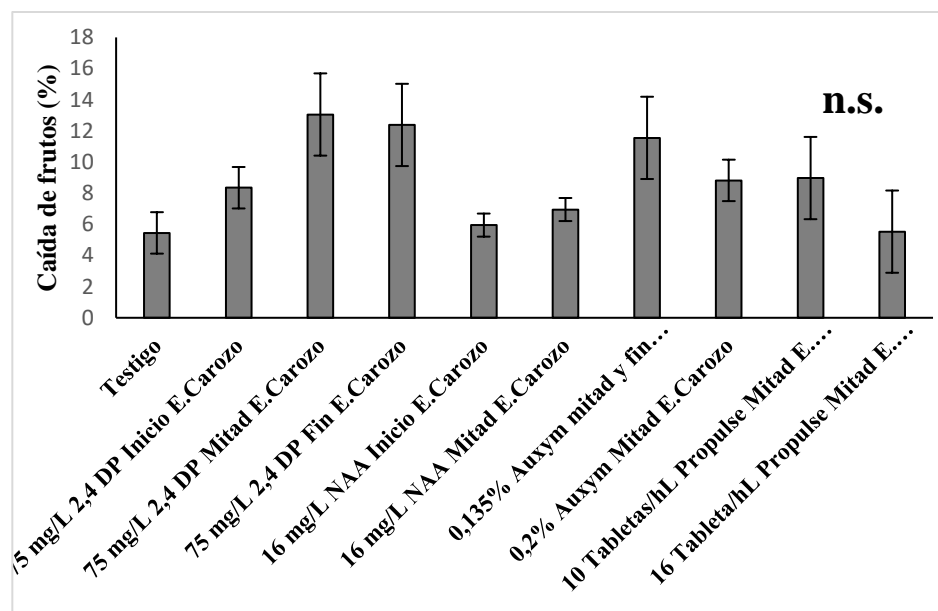


Figura 12. Caída de frutos previo a la cosecha (%) en ciruelos 'D'Agen' para diferentes tratamientos auxínicos.

Productividad

La carga frutal en frutos/árbol no tuvo diferencias significativas, mientras que al ser expresada como frutos/cm² ASTT y frutos/m²PARi (Cuadro 13) se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo los tratamientos 0,135% Auxym y 10 tabletas/hL Propulse menores al testigo; los restantes tratamientos no tienen diferencia con el testigo.

En cuanto al peso medio del fruto, normalizado por la covariable carga frutal, todos los tratamientos con auxinas se diferenciaron del tratamiento testigo, sin diferencias estadísticas entre ellos; no obstante, los tratamientos que presentaron mayor tamaño de fruto fueron los 3 aplicados con 2,4-DP, siendo el aplicado en la última etapa el de mayor tamaño, junto con Auxym al 0,2% y Propulse aplicado a una concentración de 10 tabletas/hL (Cuadro 14). Esto permitió un aumento significativo de la productividad de ciruelas deshidratadas, del 22; 21 y 23% con los tratamientos 2,4-DP, Auxym 0,2% y Propulse (10 tabletas/hL), respectivamente (Cuadro 15). Por su parte, la producción (kg/árbol) y la productividad por m² PARi en fresco y deshidratado, presentaron diferencias significativas con el tratamiento testigo; no ocurrió así con la productividad en fresco, expresada en kg cm⁻² ASTT, la cual no presentó diferencias significativas entre los tratamientos; la carga frutal (frutos/cm² ASTT) no fue significativa como covarianza (cuadros 15 y 16).

Cuadro 13. Carga frutal expresada en diferentes unidades para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Carga frutal (frutos/árbol)	Carga frutal (frutos/cm ² ASTT)	Carga frutal (frutos/m ² PARi)
Testigo	3742 ± 226 a	19,2 ± 1,7 a	318,5 ± 17,0 a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	3334 ± 226 a	13,5 ± 1,7 b	289,5 ± 17,0 a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	4011 ± 74 a	19,2 ± 1,7 a	329,8 ± 17,0 a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	3685 ± 226 a	16,9 ± 1,7 a	302,5 ± 8,2 a
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	3959 ± 395 a	18,9 ± 1,7 a	314,5 ± 33,1 a
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	3736 ± 226 a	16,3 ± 1,7 a	316,0 ± 17,0 a
0,135% Auxym mitad y fin E.C	2856 ± 395 a	11,3 ± 1,7 b	240,3 ± 33,1 b
0,2% Auxym Mitad E.C	3683 ± 74 a	15,5 ± 1,7 a	304,8 ± 17,0 a
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	3083 ± 395 a	14,2 ± 1,7 b	261,0 ± 8,2 b
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	3977 ± 395 a	17,3 ± 1,7 a	345,5 ± 17,0 a
Significancia	0,0643	0,0304	0,0013

*Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 14. Peso medio de fruto, ajustado por la carga frutal como covariable (frutos/árbol, frutos/m² PARi y frutos/cm² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Peso medio de fruto					
	----- g -----					
Testigo	21,5 ± 0,2 b	21,9 ± 0,4 b	22,1 ± 0,5 b			
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	25,1 ± 0,9 a	25,6 ± 1,2 a	25,1 ± 0,6 b			
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	24,2 ± 1,1 a	24,6 ± 1,0 a	24,1 ± 1,0 b			
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	26,6 ± 0,9 a	26,7 ± 1,2 a	26,8 ± 0,6 a			
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	23,7 ± 1,1 a	23,1 ± 1,0 a	23,1 ± 0,9 b			
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	23,6 ± 1,1 a	23,6 ± 1,0 a	23,3 ± 1,0 b			
0,135% Auxym mitad y fin E.C	25,2 ± 1,0 a	24,4 ± 1,2 a	25,3 ± 1,5 b			
0,2% Auxym Mitad E.C	24,9 ± 1,0 a	24,8 ± 0,5 a	24,7 ± 1,2 b			
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	25,7 ± 0,9 a	25,2 ± 1,2 a	25,9 ± 1,4 b			
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	22,8 ± 1,2 a	23,7 ± 1,0 a	22,4 ± 0,9 b			
Significancia	<0,0001	<0,0001	<0,0001			
CV	(frutos/árbol)	(frutos/m ² PARi)	(frutos/cm ² ASTT)			
Significancia	0,0004	0,0001	0,0028			

*Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 15. Producción en fresco y productividad (cosecha para fresco y deshidratado), ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/árbol y frutos/m² PARi), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo 'D'Agen', localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Producción		Productividad fresco		Productividad deshidratada	
	(kg/árbol)		kg/m ² PARi		kg/m ² PARi	
Testigo	77,3 ± 0,7 b		6,6 ± 0,1 b		2,4 ± 0,1 b	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	90,4 ± 3,4 a		7,6 ± 0,3 a		2,9 ± 0,2 a	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	87,4 ± 4,2 a		7,4 ± 0,4 a		2,9 ± 0,2 a	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	96,8 ± 3,3 a		8,0 ± 0,3 a		2,9 ± 0,1 a	
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	82,9 ± 4,2 a		6,9 ± 0,3 a		2,5 ± 0,2 a	
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	84,1 ± 4,2 a		7,1 ± 0,3 a		2,6 ± 0,2 a	
0,135% Auxym mitad y fin E.C	86,3 ± 3,5 a		7,1 ± 0,4 a		2,6 ± 0,2 a	
0,2% Auxym Mitad E.C	90,0 ± 3,3 a		7,5 ± 0,1 a		2,9 ± 0,1 a	
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	89,4 ± 3,4 a		7,5 ± 0,4 a		2,9 ± 0,2 a	
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	82,0 ± 4,2 a		7,1 ± 0,4 a		2,6 ± 0,1 a	
Significancia	<0,0001		0,0025		0,0072	
CV	(frutos/árbol)		(frutos/m ² PARi)			
Significancia	<0,0001		<0,0001		<0,0001	

*Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 16. Productividad (cosecha para fresco y deshidratado), ajustados por la carga frutal como covariable (frutos/cm² ASTT), para diferentes tratamientos auxínicos aplicados en ciruelo D'Agen, localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Producción			Productividad fresco		Productividad deshidratada	
	(kg/árbol)			kg/cm ² ASTT		kg/cm ² ASTT	
Testigo	77,34	± 0,73	b	0,46 ± 0,04	a	0,013 ± 0,000	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	90,41	± 3,35	a	0,45 ± 0,02	a	0,013 ± 0,001	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	87,43	± 4,20	a	0,43 ± 0,04	a	0,012 ± 0,001	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	96,81	± 3,33	a	0,41 ± 0,04	a	0,012 ± 0,001	a
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	82,94	± 4,19	a	0,38 ± 0,02	a	0,011 ± 0,001	a
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	84,13	± 4,16	a	0,37 ± 0,04	a	0,011 ± 0,001	a
0,135% Auxym mitad y fin E.C	86,32	± 3,50	a	0,37 ± 0,02	a	0,011 ± 0,000	a
0,2% Auxym Mitad E.Ca	90,00	± 3,33	a	0,35 ± 0,02	a	0,011 ± 0,001	a
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	89,43	± 3,41	a	0,35 ± 0,02	a	0,011 ± 0,001	a
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	82,00	± 4,19	a	0,31 ± 0,03	a	0,009 ± 0,001	b
Significancia	<0,0001			0,0192		0,0019	
CV	(frutos/árbol)			(frutos/cm ² ASTT)			
Significancia	<0,0001			0,1490		0,0141	

*Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Madurez y calidad de la fruta

Al momento de cosecha para fresco, todos los tratamientos presentaron mayor concentración de sólidos solubles (17,4% °Brix) que el testigo (13,5% °Brix), no así en firmeza (10,1 Lbs promedio), la que no presentó diferencias significativas (datos no mostrados).

Al momento de la cosecha para deshidratado, todos los tratamientos presentaron una concentración de sólidos solubles normalizada por la carga frutal (covariable frutos/m² PARi), superior a 24°Brix; se diferenciaron los tratamientos 0,135% Auxym y 16 tabletas/hL Propulse, los cuales presentaron significativamente menos SS que los otros tratamientos; lo mismo ocurrió al normalizar los sólidos solubles por la carga frutal, en frutos/cm² ASTT. En cuanto a la firmeza, los tratamientos con mayor firmeza fueron aquellos con 2,4-DP y NAA (>4 Lbs). Los resultados cambiaron al normalizar la firmeza por la carga frutal, en frutos/cm² ASTT, ya que los tratamientos que presentaron mayor firmeza fueron los aplicados con 2,4-DP (Inicio y final E.C.). Por último, la materia seca no presentó diferencias significativas entre tratamientos, aun siendo normalizada por la carga frutal, tanto por frutos/m² PARi como por frutos/cm² ASTT, siendo esta última significativa como covariable (cuadros 17 y 18).

Cuadro 17. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal como frutos/m² PARi como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Sólidos solubles		Firmeza		Materia seca	
	(%)		(Libras)		(%)	
Testigo	26,3 ± 0,5	a	3,8 ± 0,1	b	30,7 ± 1,7	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	27,9 ± 0,5	a	4,5 ± 0,1	a	31,8 ± 1,0	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	26,2 ± 0,5	a	4,1 ± 0,1	a	33,3 ± 1,0	
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.	26,5 ± 0,5	a	4,5 ± 0,2	a	30,6 ± 1,0	
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	26,7 ± 0,5	a	4,2 ± 0,1	a	31,0 ± 1,0	
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	25,9 ± 0,5	a	4,1 ± 0,1	a	31,5 ± 1,0	
0,135% Auxym mitad y fin E.C	24,4 ± 0,5	b	4,2 ± 0,1	a	30,6 ± 1,1	
0,2% Auxym Mitad E.C	27,5 ± 0,5	a	3,7 ± 0,2	b	32,5 ± 0,4	
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	26,3 ± 0,5	a	3,8 ± 0,1	b	33,8 ± 1,4	
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	24,5 ± 0,5	b	4,0 ± 0,1	a	32,0 ± 0,5	
Significancia	0,0009		0,0017		0,2966	
CV (frutos/m ² PARi)	0,5054		0,2870		0,0449	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Cuadro 18. Características de los frutos a cosecha, ajustados por la carga frutal como frutos/cm² ASTT como covariable, para tratamientos auxínicos en ciruelos 'D'Agen', localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Sólidos Solubles		Firmeza		Materia seca	
	(%)		(Libras)		(%)	
Testigo	26,5 ± 0,5	a	3,7 ± 0,2	b	31,4 ± 1,7	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.C	27,7 ± 0,5	a	4,6 ± 0,2	a	31,1 ± 0,9	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	26,4 ± 0,5	a	4,0 ± 0,2	b	33,8 ± 0,4	a
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	26,5 ± 0,5	a	4,5 ± 0,3	a	30,8 ± 0,9	a
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E.C	26,9 ± 0,5	a	4,1 ± 0,1	b	31,7 ± 0,4	a
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E.C	25,9 ± 0,5	a	4,1 ± 0,1	b	31,3 ± 0,9	a
0,135% Auxym mitad y fin E.C	24,1 ± 0,6	b	4,4 ± 0,1	a	30,0 ± 1,0	a
0,2% Auxym Mitad E.C	27,5 ± 0,5	a	3,7 ± 0,2	b	32,2 ± 0,9	a
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	26,2 ± 0,5	a	3,8 ± 0,1	b	33,2 ± 1,3	a
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	24,6 ± 0,5	b	4,0 ± 0,1	b	31,7 ± 0,2	a
Significancia	0,0007		0,0005		0,0055	
CV (frutos/cm ² ASTT)	0,2362		0,0324		<0,0001	

* Letras distintas de manera vertical indican diferencias significativas según la prueba de DGC (p≤0,05).

Distribución de calibres

En cuanto a la distribución de calibre de fruta fresca, los tratamientos que presentaron la mayor proporción de frutos calibre XJ (36-39 mm) fueron los aplicados con 2,4-DP y Propulse (10 tabletas/hL), alcanzando en esta categoría un 11% y 10,7% del total de la fruta, respectivamente, mientras el testigo sólo alcanzó un 1,25% de este calibre. Para las categorías J (33-36 mm) y L (27-30 mm) se observaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo todos estos estadísticamente diferentes al testigo (Figura 13); mayores en la categoría J y menores en la L.

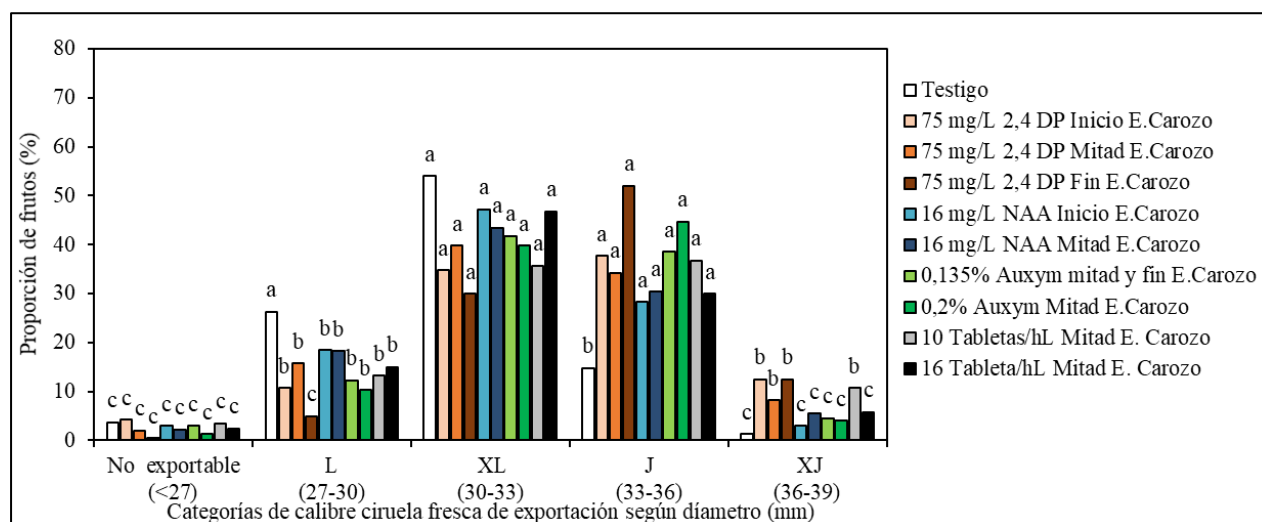


Figura 13. Distribución de calibres de exportación, en proporción de frutos (%), según el diámetro del fruto, localidad Santa Cruz. *Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Efecto de la carga frutal en el tamaño de fruto

La carga frutal mostró un claro efecto lineal negativo en el tamaño de los frutos del ciruelo D'Agén, al ser expresada como frutos/árbol, frutos/cm² PARi y frutos/cm² ASTT (figuras 14, 15 y 16, respectivamente). Al realizarse un análisis estadístico comparativo de las pendientes, ningún tratamiento presentó diferencias significativas entre ellos.

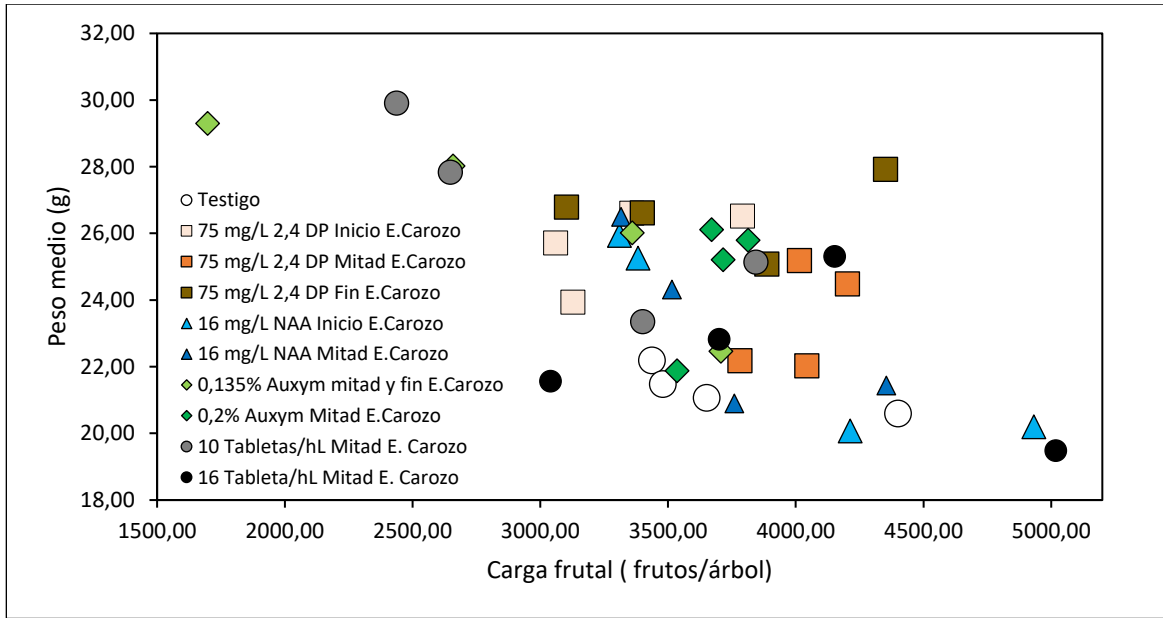


Figura 14. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/árbol) para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

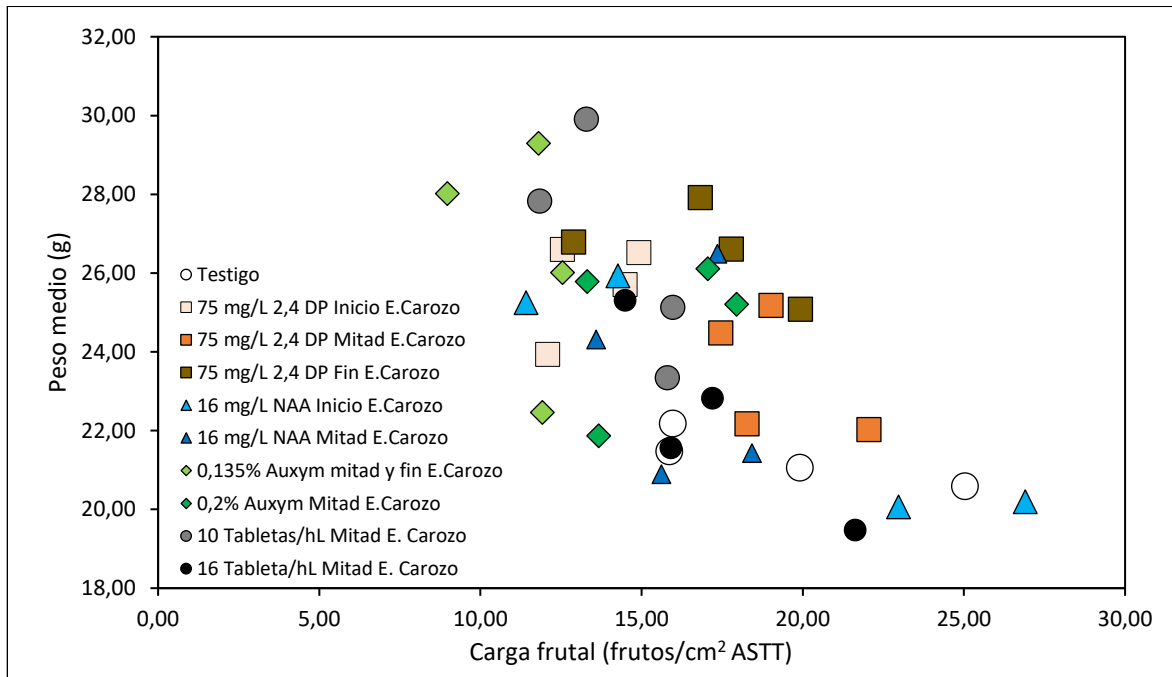


Figura 15. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/cm² ASTT) diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

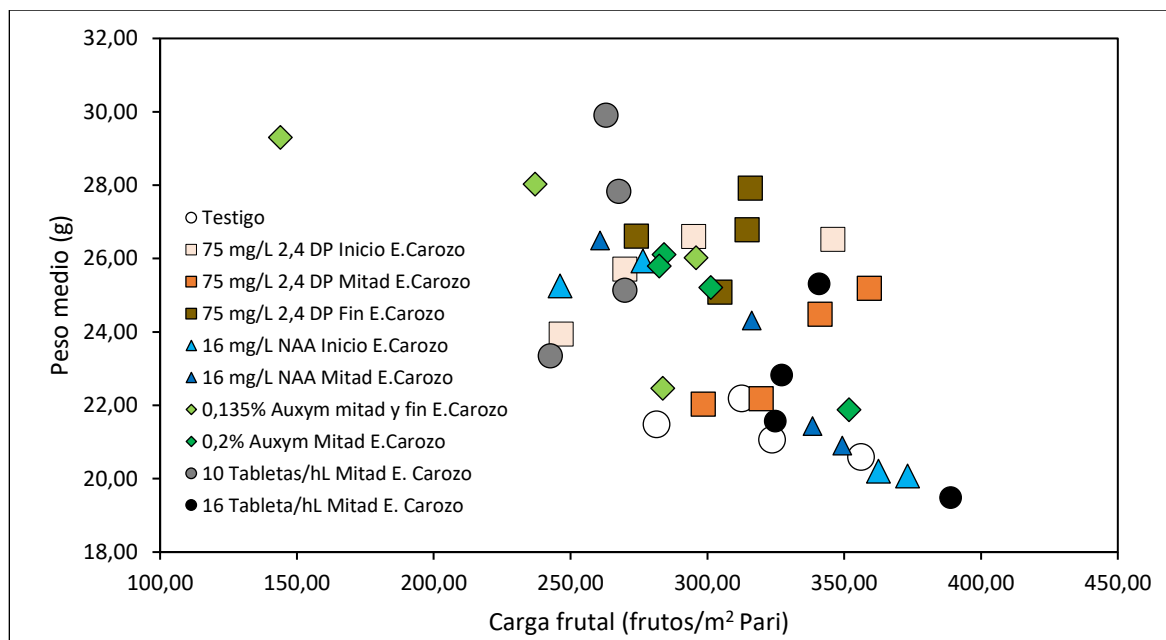


Figura 16. Peso medio de frutos (g) en función de la carga frutal (frutos/m² PARI) para diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Área foliar por fruto

Los distintos tratamientos auxínicos presentaron entre 74,1 y 127,5 cm² de área foliar por fruto, para pesos medios entre 21,3 y 26,6 g (tratamiento 75 mg L⁻¹ 2,4 DP Fin E. Carozo) (Cuadro 20).

Cuadro 20. Peso medio del fruto (g) y área foliar por fruto (cm²) para tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Tratamiento	Peso medio	AF/Fruto
	g	cm ²
Testigo	21,3	78,4
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E. Carozo	25,7	97,6
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E. Carozo	23,5	74,5
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E. Carozo	26,6	115,8
16 mg L ⁻¹ NAA Inicio E. Carozo	22,9	92,5
16 mg L ⁻¹ NAA Mitad E. Carozo	23,3	117,7
0,135% Auxym mitad y fin E. Carozo	26,5	127,5
0,2% Auxym Mitad E. Carozo	24,8	111,1
10 tabletas/hL Mitad E. Carozo	26,5	88,0
16 tabletas/hL Mitad E. Carozo	22,3	74,1

Respecto a la relación que existe entre el tamaño del fruto y el área foliar por fruto, se observa una relación exponencial, en la cual al aumentar el área foliar aumenta el tamaño del fruto, alcanzando un máximo para cada tratamiento (Figura 17). Se aprecia que alrededor de 100-150 cm² de AF/fruto existe una clara diferencia en la respuesta entre los tratamientos con auxinas de síntesis y el tratamiento testigo. Se realizó un análisis estadístico comparativo de las pendientes, utilizando variables *dummy*, pero no existieron diferencias significativas.

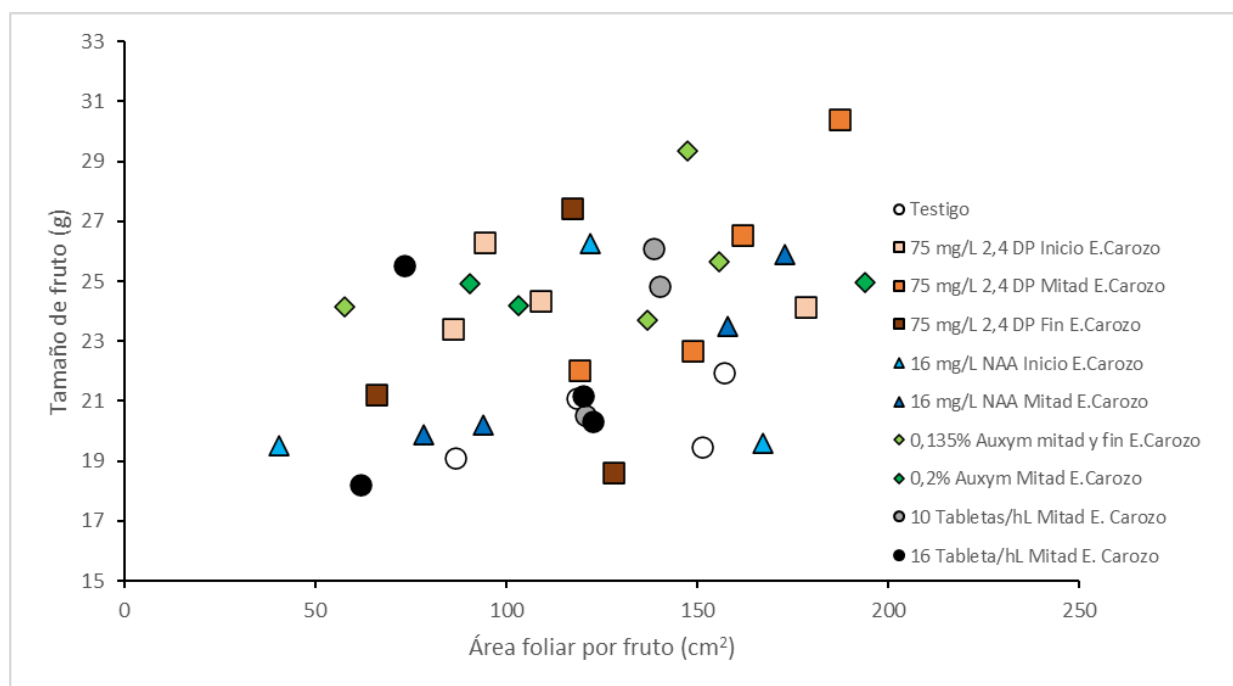


Figura 17. Tamaño del fruto (g) en función del AF/fruto (cm²) para los diferentes tratamientos auxínicos, localidad Santa Cruz.

Residuos de reguladores

El análisis de residuos (Cuadro 19) mostró que el tratamiento 2,4-DP y propulse (para ambas concentraciones) no presentaron residuos en la fruta luego del proceso de deshidratación, estando por debajo del límite de cuantificación (LOQ) (<0,01 mg kg⁻¹).

Respecto de los residuos en fruta cosechada para fresco, la dosis alta de Propulse (16 tabletas/hL) presentó trazas de ácido 2-naftiloxiacético. Por su parte, los tratamientos con 2,4-DP más tardíos (mitad y final E.C) presentaron residuos de Dichlorprop en la fruta.

Cuadro 19. Residuos de reguladores en ciruela 'D'Agen' cosechada para fruto fresco y seco, en árboles tratados con diferentes auxinas de síntesis.

Tratamiento	Cosecha fresco			Cosecha deshidratado		
	DDA	Detección	Trazas	DDA	Detección	Trazas
		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Inicio E.	78	-	No detectado	109	-	No detectado
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Mitad E.C	71	0,015		102	-	No detectado
75 mg L ⁻¹ 2,4 DP Fin E.C	64	<0,010		95	-	No detectado
10 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	71	-	No detectado	102	-	No detectado
16 Tabletas/hL Propulse Mitad E. C	71	-	<0,010*	102	-	No detectado

DDA: días después de aplicación; LOD: límite de detección= 0,003 mg/kg; LOQ: límite de cuantificación= 0,010 mg/kg.

*Ácido 2-naftiloxiacético.

DISCUSIÓN

En este ensayo se demostró una respuesta favorable del tamaño de la ciruela 'D'Agen' a distintas auxinas sintéticas, siendo el 2,4-DP aplicado a una concentración de 75 mg L⁻¹ en endurecimiento de carozo la que presentó los mejores resultados, tal como lo demostró Agustí *et al.* (1994) y Ben-Arie *et al.* (2007a) en damascos, con 25 y 50 mg L⁻¹ de 2,4-DP en similar momento fenológico, respectivamente. Agustí *et al.* (1994) mencionan que si esta aplicación se realiza después de la etapa de la división celular, la respuesta positiva no se debe al número de células sino al agrandamiento celular. Al respecto, el menor resultado en aumento del tamaño de fruto, a la misma concentración de 2,4-DP, aplicado en ramillete expuesto sugiere que el efecto de la auxina es mayoritariamente en la expansión celular, más que en división celular como lo fue también en la aplicación de NAA en la primera temporada; siendo la etapa de división celular en *Prunus doméstica* hasta alrededor de las 8 semanas después de floración, alcanzando el tamaño celular definitivo del endocarpo, para dar paso a la etapa de endurecimiento de carozo y la expansión de las células (Sterling, 1953).

El aumento del tamaño del fruto con 2,4-DP y 3,5,6-TPA también se explicó, en cereza 'Bing', por el aumento del tamaño de las células parenquimáticas, mediante observación microscópica de las células del mesocarpo. Sin embargo, este efecto sólo se detectó en árboles con una carga frutal baja (Applebaum *et al.*, 2007). Al respecto, en el caso de este estudio, en su primer año, la respuesta a los diferentes tratamientos no fue evidente sino hasta cuando el área foliar por fruto era superior a 200 cm², de manera tal que la respuesta a las auxinas sólo sería esperable cuando, además, exista una regulación de la carga frutal para el desarrollo del fruto.

Los resultados de la segunda temporada corroboraron el efecto de las auxinas 2,4-DP aplicadas en la etapa de endurecimiento de carozo en la ciruela 'D'Agen', no siendo evidente cuál de los estados fenológicos seleccionados sería el más efectivo, pues si bien aquellos aplicados a inicio y mitad del endurecimiento tuvieron una rápida y positiva respuesta en aumentar el diámetro de los frutos evidente durante la temporada, al momento de la evaluación en cosecha, fue el tratamiento más temprano el que mostró un mejor desempeño y al momento de evaluar el peso medio de los frutos el tratamiento más tardío presentó el peso más alto.

Sin perjuicio de lo anterior, el 2,4-DP tiene límites de residualidad, residuos que fueron detectados en fruta cosechada para fresco al aplicar más tarde (final de endurecimiento carozo). En este sentido, si los tres tratamientos presentaron un buen desempeño, el momento de aplicación dependerá de las restricciones de residuos que tenga el producto a cosecha, de manera de evitar posibles rechazos en los mercados destino; los residuos detectados sugieren que una recomendación a todo evento sería aplicar el 2,4-DP entre inicios y mitad de endurecimiento de carozo, y no más tarde.

Se sabe que el NAA incrementa el tamaño final de la fruta a través de su efecto de raleo, reduciendo así la competencia entre las frutas en desarrollo, demostrado en un estudio realizado en níspero a una concentración de 20 mg L⁻¹ aplicado 10-15 días después de la floración (Agustí *et al.*, 2000). Sin embargo, con estudios realizados en ciruelos europeos "Stanley" se demostró

que el NAA aplicado a una mayor concentración (40 mg L^{-1}) en floración, provoca una inducción de etileno después de 5 días de aplicado, también provocando un efecto raleador, aumentando así también el tamaño del fruto (Gonkiewicz y Nosal, 2006). Esto explica el resultado significativo que tuvo en el ensayo la doble aplicación de NAA a una concentración de 16 mg/L en brotes de 10 y 20 cm, en la cual se observó frutos raleados, aumentando así el tamaño del fruto, pero también se observó un efecto negativo en el crecimiento vegetativo, que puede explicar la diferencia de tamaño de fruto con respecto al 2,4-DP aplicado en endurecimiento de carozo. Sin embargo, en la segunda temporada, se aplicó el NAA en la etapa de endurecimiento de carozo, provocando un aumento en el tamaño de fruto gracias al efecto auxínico de la molécula, sin generar raleo de frutos, lo que sugiere que el efecto raleador ocurre con aplicaciones en el periodo previo al inicio del endurecimiento de carozo.

En cuanto al tamaño del árbol, en la primera temporada se observó que los tratamientos NAA y 3,5,6-TPA afectaron la fracción de *PAR* interceptado, debido a la disminución del crecimiento vegetativo y del área foliar. En el estudio de Agustí *et al.* (1994), los tratamientos con 2,4-DP disminuyeron el crecimiento vegetativo al ser aplicados al inicio del endurecimiento de carozo, disminuyendo el peso seco de las hojas y así también el área foliar del mismo. En otro estudio, realizado en duraznero con la aplicación de 3,5,6-TPA en endurecimiento de carozo, aumentó el tamaño de fruto, pero tuvo un efecto negativo en el largo de los brotes, los cuales disminuyeron, lo que se puede explicar por una competencia por los asimilados entre el desarrollo del fruto y el crecimiento vegetativo (Agustí *et al.*, 1999). Al respecto, a diferencia del ciruelo europeo, que inicia su crecimiento vegetativo en dardos y luego en brotes, el crecimiento del duraznero es en base solo a brotes, por lo que este se ve afectado cuando existe fruta en el árbol, ya que esta tiene una alta demanda de asimilados. Adicionalmente, en la segunda temporada, la fracción de interceptación (*fPARi*) no fue reducida por la aplicación de las auxinas de síntesis, cuando los tratamientos fueron aplicados en momentos fenológicos más tardíos; entonces, es probable que la gran parte del desarrollo vegetativo de los árboles tratados ya se había desarrollado, de manera que los tratamientos aplicados en el periodo de endurecimiento de carozo no afectarían el área foliar de los árboles.

Al integrar los datos Índice de Área Foliar (IAF, área de hojas por unidad de área de superficie de suelo), estimados a partir de la “Fracción de *PAR* interceptado” de ambas temporadas (Figura 18), para explorar la respuesta del peso medio en función de la relación fuente-sumidero (frutos/IAF) en los tratamientos aplicados con 2,4DP, se observa que para la localidad de Chancón existiría una respuesta mayor en cuanto al tamaño de fruto a un mismo IAF que en la localidad Santa Cruz, la cual se puede explicar por un efecto de temporada o por diferencias de manejo entre ambos. No obstante lo anterior, en la Figura 18 se observa claramente el efecto auxínico del 2,4-DP cuando la disponibilidad de área foliar por fruto es alta, lo que no se observa con una menor disponibilidad de área foliar por fruto.

El mayor efecto en el tamaño del fruto con más área foliar disponible permite estimar una relación que optimice el área foliar necesaria respecto de la producción; si tenemos una relación área foliar-fruto alta, obtendremos frutos grandes pero una baja producción; por el contrario, si esta relación es baja, tendremos una alta producción, pero con frutos pequeños que no se verán necesariamente favorecidos por la aplicación de auxinas. Es por esto que, en este estudio, el

máximo tamaño de frutos de ciruelo 'D'Agén' debemos tener entre 150-200 frutos/IAF. Esto es similar a los resultados de Reginato *et al.* (2014) en distintas variedades de cerezo.

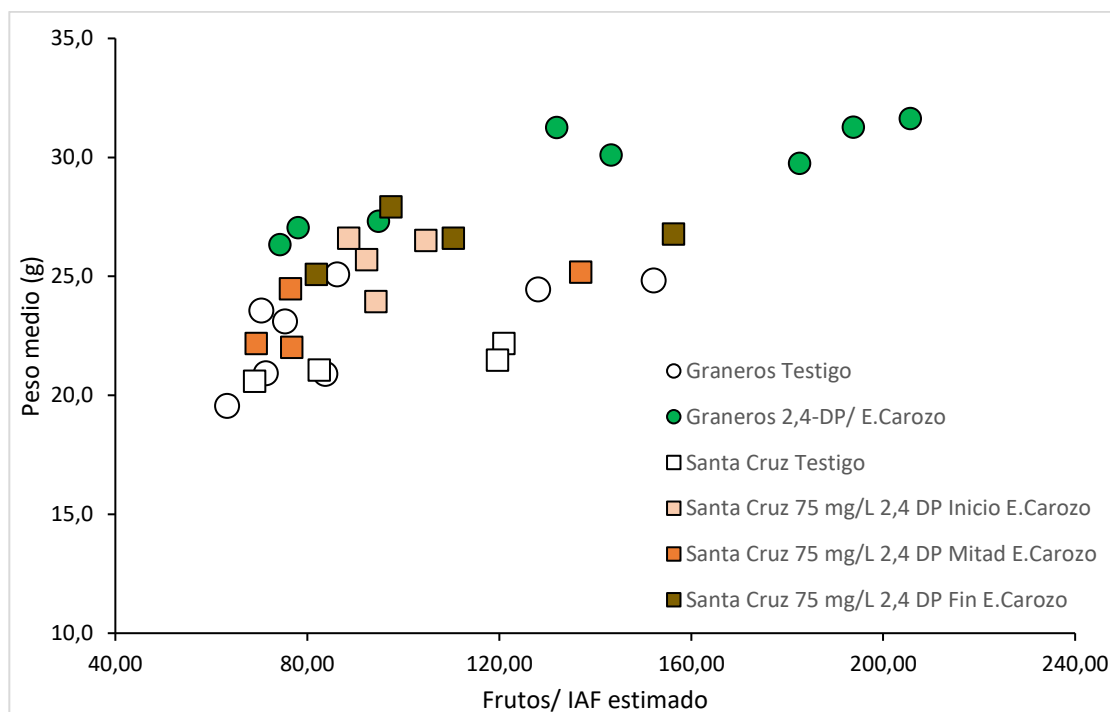


Figura 18. Peso medio (g) en función de la relación fuente-sumidero (frutos/IAF) en ambas temporadas.

Se ha demostrado previamente que el uso de auxinas afectó positivamente el tamaño del fruto en otras especies frutales, no habiéndose encontrado reportes en ciruela D'Agén. La alta demanda de este fruto como producto fresco y el mayor precio de la fruta de mayor tamaño ha promovido el interés por el mejoramiento de la poda y el raleo manual, de alto costo, para aumentar la relación hoja-fruto, y adicionalmente la incorporación de técnicas, como la aspersion de auxinas, para optimizar las labores con la utilización de reguladores de crecimiento que tienden a ser más eficientes y de bajo costo (Byers *et al.*, 2003, citado por Ben-Arie *et al.*, 2007a), con el fin de disminuir los costos de raleo manual, disminuyendo la cantidad de fruta a ralear. Independiente de los resultados de este ensayo, debe tenerse en cuenta que la poda y el raleo del ciruelo 'D'Agén' son determinantes para mantener los rendimientos esperados y alcanzar calibres de exportación (Sotomayor, 2018), más aún al tener en cuenta que para el exitoso resultado con la aplicación de auxinas sintéticas parece muy importante disponer de suficiente cantidad de área foliar ($fPARI$) por fruto, es decir adecuada carga frutal, con una buena relación fuente-sumidero (frutos/IAF).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados es posible concluir:

- La carga frutal tiene una relación inversa directa con el tamaño de fruto sea cual sea el tratamiento realizado.
- La magnitud de la respuesta en aumentar el tamaño de fruta con la aplicación de auxinas sintéticas depende de la disponibilidad de área foliar en los árboles.
- La aplicación de auxinas durante el endurecimiento de carozo aumenta el tamaño de fruto y la productividad del ciruelo D'agen, no así con aplicaciones en ramillete expuesto.
- Las aplicaciones de auxinas en la etapa de endurecimiento de carozo no afectan el crecimiento vegetativo, no así las aplicaciones más tempranas.
- Auxym 0,2%, Propulse (10 tabletas/hl) y 2,4-DP tienen el mejor efecto sobre el calibre y la productividad.
- El momento de aplicación está restringido debido a la tolerancia de los mercados y la velocidad de degradación de las auxinas.
- Las características de los frutos a cosecha, materia seca, sólidos solubles y firmeza, no se afectan significativamente por los tratamientos auxínicos.
- Para la obtención de frutos de calibre grande (J y XJ) se requieren al menos 200 cm² de área foliar por fruto.

LITERATURA CITADA

Agusti M., M. Juan, V. Almela, and C. Speroni. 1994. The effect of 2,4-DP on fruit development in apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Hort.* 57: 51–57.

Agusti, M., V. Almela, I. Andreu, M. Juan, and L. Zacarias. 1999. Synthetic auxin 3,5,6-TPA promotes fruit development and climacteric in *Prunus persica* L. *Batsch. J. Hort. Sci. Biotech.* 74: 556–660.

Agustí, M., M. Juan, V. Almela, and N. Gariglio. 2000. Loquat fruit size is increased through the thinning effect of naphthaleneacetic acid. *Plant Growth Regul.* 31: 161–171.

Agustí, M., N. Gariglión, A. Castillo, M. Juan, V. Almela, A. Martínez-Fuentes, and C. Mesejo. 2003. Effect of the synthetic auxin 2,4-DP on fruit development of loquat. *Plant Growth Regulation.* 41: 129-132.

Agustí, M., A. Martínez-Fuentes, C. Mesejo, and C. Reig. 2016. Synthetic auxin 3,5,6-TPA increases fruit size of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by reducing cell turgor pressure. *Scientia Horticulturae* 210: 213–219.

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

Ben-Arie, R., M. Flaishman, and R. Stern. 2007a. The effect of synthetic auxins on fruit development, quality and final fruit size in ‘Canino’ apricot (*Prunus armeniaca* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82 (2): 335-340.

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

Davies, P.J. 1995. Introduction. In: *Plant hormones*, Davies P.J., ed (Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers), pp. 1–38.

Fichet, T. 2017.julio. Mensajes químicos: Fitohormonas y modo de acción de los reguladores de crecimiento: un mundo que se abre a la agricultura. *Mundoagro, Chile*, 9 (92): 30-35.

Gonkiewicz, A., and K. Nosal. 2006. NAA-induced ethylene evolution by plum flowers and fruitlets. *Folia Horticulturae* 18(1): 63-72.

ODEPA, 2017. Catastro frutícola Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2016/12/Metropolitana.pdf>. Leído el 10 de marzo de 2021.

ODEPA, 2018. Boletín de fruta, enero 2018. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletin-de-fruta-fresca-enero-de-2018>. Leído el 10 de marzo de 2021.

ODEPA, 2020. Boletín de fruta, enero 2020. <https://www.odepa.gob.cl/contenidos-rubro/boletines-del-rubro/boletin-de-fruta-enero-de-2020>. Leído el 10 de marzo de 2021.

Portal del Campo, 2018. Ciruelas D'Agen, ¿las próximas cerezas? Disponible en: https://portaldelcampo.cl/Noticias/67145_Ciruelas-D'Agen-las-pr%C3%B3ximas-cerezas.html?platform=hootsuite. Leído el 25 de noviembre de 2018.

Portal Frutícola, 2018. Chile proyecta comercializar 71 mil toneladas de ciruelas deshidratadas este 2018. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/03/06/chile-proyecta-comercializar-71-mil-toneladas-ciruelas-deshidratadas-este-2018/> . Leído el 04 de noviembre de 2018.

Portal Frutícola, 2020. Chile: Pese a menor volumen, hubo mejor calibre y calidad en campaña 2020 de ciruela deshidratada. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/04/29/chile-pese-a-menor-volumen-hubo-mejor-calibre-y-calidad-en-campana-2020-de-ciruela-deshidratada/>. Leído el 25 de mayo de 2020.

Red Agrícola, 2018. El adiós a los calibres chicos en ciruela para deshidratado. Disponible en: <http://www.redagricola.com/cl/adios-los-calibres-chicos-ciruela-deshidratado/>. Leído el 04 de noviembre de 2018.

Red Agrícola, 2020. Tres voces autorizadas opinan sobre el mercado de la ciruela deshidratada. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/tres-voce-autorizadas-opinan-mercado-la-ciruela-deshidratada/>. Leído el 25 de mayo de 2020.

Reginato, G. 2009. Carga frutal y tamaño del fruto en ciruelo europeo. Boletín Técnico, Nodo Hortofrutícola Región de O'Higgins, Chile. Volumen 1. 2 p.

Reginato, G; G. Bujdoso and T. Robinson. 2014. Influence of Pruning Severity on Fruit Size of 'Sweetheart', 'Lapins' and 'Hedelfingen' Sweet Cherry Grown on Gisela Rootstocks. Acta Horticulture, 1020: 441-452.

Saini, S., I. Sharma, N. Kaur, and PK. Pati. 2013. Auxin: a master regulator in plant root development. Plant Cell Rep. 32:741–757.

Sauer, M., S. Robert, and J. Kleine-Vehn. 2013. Auxin: simply complicated. Journal of Experimental Botany, 64(9): 2565–2577.

Sotomayor, J. 2018. El adiós a los calibres chicos en ciruela para deshidratado. Red Agrícola N 95.

Sterling, C. 1953. Developmental Anatomy of the Fruit of *Prunus domestica* L. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 80 (6): 457-477.

