



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Déficit hídrico prolongado en peral Williams sobre dos portainjertos

Lucía Patricia BENTANCOR DE LEÓN

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Vegetales

Setiembre 2023

Déficit hídrico prolongado en peral Williams sobre dos portainjertos

Lucía Patricia BENTANCOR DE LEÓN

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Vegetales

Setiembre 2023

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Ing. Agr. (PhD) Maximiliano Dini, la Ing. Agr. (Dra.) Vivian Severino y Ing. Agr. Gerardo Echeverria (Dr.) el 17 de agosto de 2023. Autora: Ing. Agr. Lucía Bentancor. Directora: Ing. Agr. (Dra.) Georgina Garcia-Inza. Codirector: Ing. Agr. (Msc.) Danilo Cabrera.

Dedico este trabajo a mi familia
y en especial a mis padres,
por ser mi soporte incondicional
siempre

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora, Georgina Garcia-Inza, por dedicarme su apoyo constante durante todo este trabajo.

A Danilo Cabrera, Claudio García y Maximiliano Dini, por todos sus aportes y colaboraciones en este trabajo.

A todo el personal de INIA Las Brujas, involucrado en lo que fue parte operativa vinculada a este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL PERAL	1
1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	2
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PORTAINJERTOS UTILIZADOS EN PERAL.....	3
1.4. EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN FRUTALES DE HOJA CADUCA.....	4
1.5. OBJETIVOS.....	7
2. <u>EFFECTOS DEL DEFICIT HÍDRICO PROLONGADO EN PERAL WILLIAMS SOBRE DIFERENTES PORRAINJERTOS</u>.....	8
2.1. RESUMEN	8
2.2. SUMMARY	9
2.3. INTRODUCCIÓN.....	10
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.4.1. <u>Sitio experimental</u>.....	13
2.4.2. <u>Tratamientos</u>.....	13
2.4.3. <u>Evaluaciones</u>.....	16
2.4.4. <u>Análisis estadístico</u>.....	18
2.5. RESULTADOS.....	19
2.5.1. <u>Análisis oferta hídrica año 2020-2021</u>.....	19
2.5.2. <u>Análisis oferta hídrica año 2021-2022</u>.....	20
2.5.3. <u>Estado hídrico de las plantas</u>.....	21
2.5.4. <u>Efecto del estrés hídrico prolongado sobre</u>	

<u>variables de crecimiento y productivas</u>	23
2.5.5. <u>Efectos en los índices de madurez</u>	25
2.6. DISCUSIÓN	28
2.8. CONCLUSIONES	32
2.8. BIBLIOGRAFÍA	34
3. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	39
4. <u>CONCLUSIONES</u>	43
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	45
6. <u>ANEXOS</u>	50
6.1. ANEXO 1. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE BROTES DURANTE LA TEMPORADA 2020-2021	50
6.2. ANEXO 2. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE BROTES DURANTE LA TEMPORADA 2021-2022	41
6.3. ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA FENOLOGÍA EN PERALES WILLIAMS ANTE DIFERENTES TRATAMIENTOS DURANTE LA TEMPORADA 2021-2022	52

RESUMEN

El peral Williams se cultiva preferentemente en el hemisferio norte, sobre todo en climas áridos y fríos. Uruguay es una zona atípica para el cultivo; sin embargo, se producen peras de gran calidad para la exportación. Las precipitaciones anuales, en promedio, superan los requerimientos hídricos del cultivo, pero la distribución de estas puede generar períodos de déficit hídrico en los momentos de mayor demanda. Además, la probabilidad de precipitaciones es afectada por el fenómeno ENSO. Los años Niña se caracterizan por un incremento en la probabilidad de eventos con déficit hídrico. En Uruguay, las respuestas del peral Williams ante diferentes niveles de déficit hídrico y portainjertos no ha sido estudiada ampliamente. El objetivo de este trabajo fue evaluar las respuestas ecofisiológicas del peral a dos niveles de irrigación y combinaciones de portainjerto/cultivar. En la temporada 2020-2021, se examinaron cuatro tratamientos entre las combinaciones de portainjertos y cultivar: *P. calleryana*/Williams y OH × F333 / Williams, con y sin riego. En la temporada 2021-2022, se evaluó el impacto de los tratamientos aplicados en la temporada anterior, sobre las combinaciones de Williams con ambos portainjertos, pero sin oferta hídrica. La conductancia estomática (CE) fue un indicador sensible ante los diferentes niveles de irrigación en los perales, y los árboles regularon su CE de manera similar, independientemente del portainjerto evaluado. No se encontraron diferencias significativas en el peso de los frutos. En la temporada 2021-2022, la combinación *P. calleryana* / Williams mostró una mayor CE y se consideró más tolerante al déficit hídrico. El rendimiento y el peso de los frutos no se vieron afectados, pero el portainjerto OH × F333 resultó ser el más productivo. Los frutos expuestos a déficit hídrico presentaron un aumento en el contenido de sólidos solubles totales (CSST). En general, el peral Williams demostró plasticidad ante el déficit hídrico, sin generar efectos diferenciados en la productividad; además, retrasó el pico de síntesis de etileno, lo que demoró la pérdida de firmeza de pulpa, y mejoró aspectos de calidad como el CSST.

Palabras clave: *Pyrus communis*, *Pyrus calleryana*, ENSO, portainjerto OH×F 333, conductancia estomática

Prolonged water deficit in Williams pear tree on two rootstocks

SUMMARY

Williams pear tree is preferably grown in the northern hemisphere, especially in arid and cold climates. Uruguay is an atypical area for cultivation; however, high quality pears are produced for export. On average, annual rainfall exceeds the water requirements of the crop, but the distribution of these can generate periods of water deficit at times of greatest demand. In addition, the probability of precipitation is affected by the ENSO phenomenon. The Niña years are characterized by an increase in the probability of events with water deficit. In Uruguay, the responses of the Williams pear tree to different levels of water deficit and rootstocks have not been extensively studied. The objective of this work was to evaluate the ecophysiological responses of the pear tree to two levels of irrigation and rootstock/cultivar combinations. In the 2020-2021 season, four treatments were examined among the rootstock-cultivar combinations: *Pyrus calleryana* / Williams and OH × F333 / Williams, with and without irrigation. In the 2021-2022 season, the impact of the treatments applied in the previous season was evaluated on the combination of Williams with both rootstocks, but without water supply. The stomatal conductance (Sc) was a sensitive indicator to the different levels of irrigation in the pear trees, and the trees regulated their Sc in a similar way, regardless of the rootstock evaluated. No significant differences were found in the weight of the fruits. In the 2021-2022 season, the combination *P. calleryana* / Williams showed a higher Sc and was considered more tolerant to water deficit. Yield and fruit weight were not affected, but the OH × F333 rootstock was the most productive. The fruits exposed to water deficit presented an increase in the content of total soluble solids (CTSS). In general, the Williams pear tree showed plasticity in the face of water deficit, without generating differentiated effects on productivity; it also delayed the ethylene synthesis peak, delaying the loss of pulp firmness, and improved quality aspects such as CTSS.

Keywords: *Pyrus communis*, *Pyrus calleryana*, ENSO, rootstock OH×F 333, stomatal conductance

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL PERAL

El peral europeo (*Pyrus communis*) es un cultivo de importancia mundial tanto desde el punto de vista de su valor nutricional como del económico. Se encuentra cultivado en distintas regiones del mundo, focalizándose su producción en Europa, Asia y América del Norte. Durante el año 2020, la producción alcanzó las 25,7 Mt en el ámbito mundial, destacándose China como el principal país productor, seguido de Italia y Estados Unidos (FAOSTAT, 2022).

Nutricionalmente, la pera se destaca por ser una fruta con un alto contenido de nutrientes: vitaminas, minerales y fibra dietética. Además, posee un alto nivel de compuestos bioactivos. Entre estos últimos, sobresalen los componentes antioxidantes como los fenoles, ubicados principalmente en la cáscara del fruto, y los triterpenoides, ubicados tanto en la cáscara como en la pulpa (Kolniak-Ostek, 2016, Li et al., 2013).

La producción de pera en Uruguay alcanza los 11.967 kg.ha⁻¹ (promedio 2020-2021) y abarca una superficie de 597 ha. El cultivar más implantado es Williams, ocupando el 89 % de la superficie destinada al peral. Este cultivar se produce de forma mayoritaria debido a sus características organolépticas y porque es el preferido por los consumidores uruguayos. Además, las peras producidas en Uruguay logran alcanzar una alta calidad, lo cual las convierte en un producto con gran potencial exportador (MGAP-DIGEGRA, 2021).

En lo que refiere a los destinos de producción entre un 10 y un 20 % es exportado para el consumo de fruta fresca. Los principales destinos de dichas exportaciones son mercados como la Unión Europea y Brasil (MGAP-OPYPA, 2022).

1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Uruguay se caracteriza por presentar acumulados de precipitaciones anuales que van desde los 1200 a 1600 mm. Sin embargo, la distribución de las precipitaciones presenta una gran variabilidad interanual en lo que refiere a los acumulados totales de precipitaciones mensuales (Castaño et al., 2011).

Un fenómeno climático que afecta al Uruguay es El Niño Oscilación Sur (ENSO). ENSO contribuye en parte a la variabilidad interanual en precipitaciones, debido a que impacta en el régimen de precipitaciones interanuales del sur de América del Sur (Penalba y Rivera, 2016). El ENSO se caracteriza por tener dos fases distintas, durante la fase El Niño se dan las condiciones para que se produzca un calentamiento anormal de las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial central. En Uruguay esto provoca un incremento en la probabilidad de precipitaciones (Rasmusson y Carpenter, 1982). Por el contrario, la fase La Niña se caracteriza por un enfriamiento de las aguas superficiales del Pacífico ecuatorial, lo que genera una disminución en la probabilidad de precipitaciones. Como consecuencia de esta fase se incrementa la probabilidad de ocurrencia de sequías en diferentes regiones de América del Sur (Vicente-Serrano et al., 2011). Para el caso específico de Uruguay, los eventos La Niña se caracterizan por un descenso en la probabilidad de precipitaciones desde el mes de octubre hasta diciembre (Pisciottano et al., 1994).

En los últimos años, concretamente desde el 2020 al 2022, Uruguay ha experimentado precipitaciones acumuladas por debajo del promedio de los últimos 30 años. Adicionalmente, el año 2022 se caracterizó por presentar la mayor temperatura máxima de la serie de datos según los datos obtenidos de la unidad GRAS del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA-GRAS, 2023) (Figura 1). Estos tres años fueron caracterizados como años Niña, lo cual implicó el descenso de la probabilidad de que se den precipitaciones y la generación de condiciones de déficit hídrico en el país y en la región (Díaz, 2023, Toreti et al., 2023, Jones, 2022).

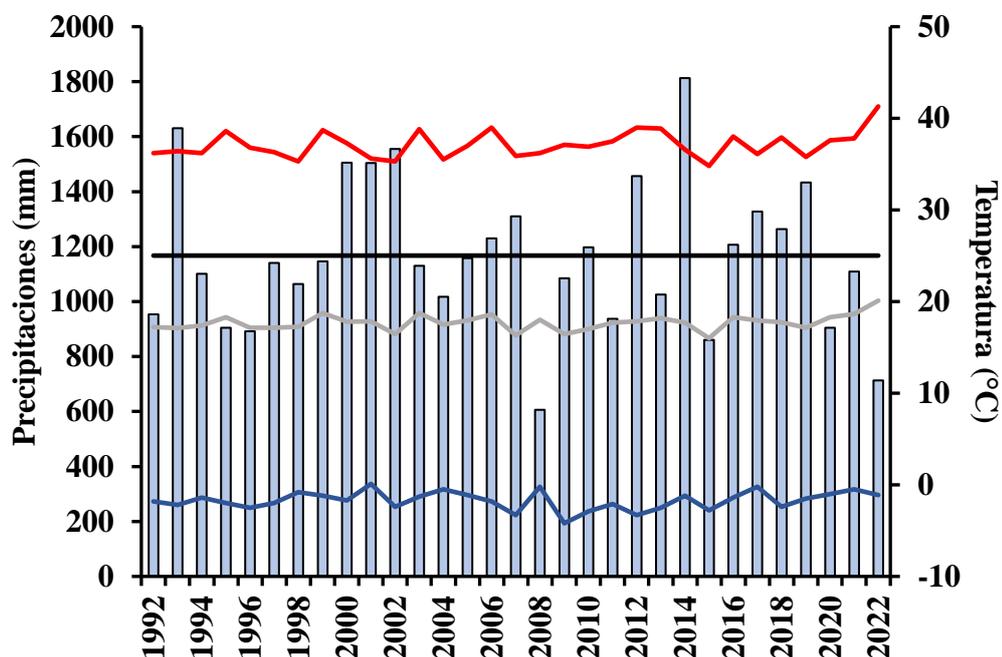


Figura 1. Evolución de variables climáticas de los últimos 30 años, donde las barras celestes indican las precipitaciones acumuladas anuales; la línea negra, el promedio de precipitaciones de los últimos 30 años; la línea gris, la temperatura promedio anual $(T \text{ máxima} + T \text{ mínima}) / 2$; la línea roja, la temperatura máxima anual, y la línea azul, la temperatura mínima anual; fuente INIA-GRAS (2023)

1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PORTAINJERTOS UTILIZADOS EN PERAL

A lo largo de la historia, se han evaluado y utilizado diferentes portainjertos para el peral en Uruguay, con los objetivos de superar desafíos de: incompatibilidad entre especies, disminución del vigor, adaptación al tipo de suelo, entre otros. Estos portainjertos han tenido respuestas diferenciales a las condiciones agroclimáticas. Inicialmente los portainjertos utilizados fueron portainjertos de semilla de la especie *P. communis*, los cuales generaban plantas muy vigorosas. Posteriormente, se comenzaron a utilizar como portainjertos los membrilleros EMC, los de la serie Provence como el BA29 y los del tipo Angers, Sydo y Adams, los cuales presentan inconvenientes en términos de incompatibilidad con *P. communis* (Cabrera y Rodríguez, 2015).

Para combatir la incompatibilidad generada en el injerto de membrillero y peral, se comenzaron a utilizar técnicas de afrancamiento, las cuales obtuvieron resultados variables. Además, se implementaron técnicas como el uso de filtros, generando plantas con la siguiente configuración: portainjerto (membrillero) / filtro / cultivar, los filtros utilizados fueron Beurre Hardy y Old Home. Por otro lado, se evaluaron otros portainjertos alternativos a los membrilleros que se utilizaron para el cultivo del peral con el fin de solventar el problema de la incompatibilidad fueron *Pyrus betulaefolia*, *Pyrus calleryana* y los portainjertos de la serie Old Home x Farmingdale (OH × F) (Cabrera y Rodríguez, 2015).

Entre los híbridos de la serie OH × F se encuentra el OH × F 333, el cual se caracteriza por ser semivigoroso, presentar una alta eficiencia productiva y entrar rápidamente en producción (Cabrera y Rodríguez, 2015, Carrera et al., 2005, Rodríguez y Castro, 2002, Wertheim, 2002, Westwood, 1982). En Uruguay, se lo describe como de vigor medio, al igual que el membrillero Provence BA-29, y con una productividad similar a este membrillero (Cabrera y Rodríguez, 2012). Se destaca por ser un portainjerto tolerante a suelos con tendencia al déficit hídrico. También se lo describe como moderadamente tolerante al fuego bacteriano, enfermedad distribuida principalmente en Norteamérica y Europa (Van der Zwet y Beer, 1995).

Por otro lado, la especie *P. calleryana* también se encuentra disponible para ser utilizada como portainjerto para Williams. Esta especie se comenzó a utilizar en el Uruguay en las décadas de los 80 y 90, por ser compatible con las variedades del género *Pyrus*, pero su uso se discontinuó debido al gran vigor que le brindaba a la planta (Cabrera y Rodríguez, 2015). Este portainjerto se adapta a climas templados, a suelos arenosos y arcillosos, siendo tolerante tanto a suelos húmedos como secos. Se caracteriza además por ser una especie vigorosa retrasando el inicio en producción (Cabrera y Rodríguez, 2012, Dalazen et al., 2012, Da Silveira Pasa et al., 2012).

1.4. EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN FRUTALES DE HOJA CADUCA

El estado hídrico de las plantas se puede definir como el contenido hídrico de una célula o planta expresado sobre el peso seco (Sánchez-Díaz y Aguirreoloa). Este

se puede medir utilizando diferentes metodologías, entre ellas se destacan: el uso de tensiómetros, el potencial hídrico y la conductancia estomática. El potencial hídrico (Ψ) refiere a la cantidad de energía necesaria para mover una molécula de agua desde una región de alta concentración de agua a una región de baja concentración de agua. El Ψ de una planta se compone de varios factores, incluyendo el potencial de presión, el potencial osmótico, el potencial matricial y el potencial gravitacional. El método de medición más utilizado en las evaluaciones realizadas a campo es el de equilibrio de presiones: la presión se mide a través del instrumento denominado cámara o bomba Scholander, que mide la presión necesaria para extraer el agua de la hoja o del tallo de la planta. Se expresa en unidades de presión, como MPa o kPa. El intercambio gaseoso de O_2 , CO_2 y vapor de agua entre las plantas y la atmósfera a través de los estomas se mide a través de la conductancia estomática (CE). La CE está regulada por la apertura estomática, la cual varía frente a diferentes condiciones hídricas de las plantas y la atmósfera. Esta se puede medir utilizando un porómetro (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008).

El déficit hídrico refiere a la situación en la cual el agua disponible en el suelo para la absorción radicular por parte de las plantas es insuficiente como para satisfacer la demanda hídrica del cultivo. El agua puede no estar disponible en el suelo como consecuencia de sequía, exceso de salinidad o efectos de las temperaturas. El déficit hídrico puede generar estrés hídrico cuando la tasa transpiratoria excede la de toma de agua, lo que genera una disminución del contenido de agua en el citoplasma celular (Levitt, 1980).

Los estudios relacionados a la evaluación del déficit hídrico en frutales de hoja caduca se han realizado en diferentes etapas del crecimiento de fruto. El crecimiento del fruto en frutales de pepita, como la pera y la manzana, se caracteriza por ser de forma sigmoideal, siendo la fase I de crecimiento en la cual predomina la división celular, la fase II de crecimiento donde se da la expansión celular y la fase III de crecimiento donde se da la maduración del fruto y el crecimiento se enlentece hasta llegar a su fin (Agustí, 2010).

En lo que refiere al período de crecimiento vegetativo en especies de hoja caduca, se da desde fines de invierno, comenzando con el estado de hinchazón de

yemas hasta fines del otoño. El crecimiento de brotes y expansión foliar se da principalmente durante los meses de primavera y disminuye debido a las elevadas temperaturas, hasta que se da la parada estival (Agustí, 2010).

En diversos estudios sobre frutales de hoja caduca a los cuales se aplicaron niveles de déficit hídrico durante el período de crecimiento de fruto, se ha constatado que la CE disminuye (Babaei et al., 2021, Marsal et al., 2008, 2000, O'Connell y Goodwin, 2007, Naor, 2000, Behboudian et al., 1994, Caspari et al., 1994,). En ensayos sobre *P. communis* donde se aplicó régimen hídrico deficitario del 85 % de la evapotranspiración del cultivo durante el estadio I de crecimiento de fruto, la CE observada fue entre un 20 y un 35 % inferior respecto a los tratamientos donde no se aplicó déficit hídrico (Marsal, 2000). En ensayos similares, donde el riego deficitario se aplicó en el estadio II de crecimiento de fruto, también se observó una disminución de la CE (Marsal et al., 2008).

El efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento de frutos es una respuesta ampliamente estudiada, pero con resultados diferentes. Algunos estudios señalan que el tamaño de fruto a cosecha fue superior cuando se aplicaron diferentes niveles de déficit hídrico controlado durante el estadio I de crecimiento de fruto. Este incremento en el tamaño final de fruto se explicaría por una disminución en el crecimiento de brotes durante la etapa inicial por la competencia con el crecimiento del fruto (Chalmers et al., 1981, 1986, Mitchel y Chalmers, 1984).

Contrariamente, otros trabajos muestran que el déficit hídrico aplicado en distintos momentos del crecimiento de fruto, tanto en estadio de crecimiento I como en el II, observaron un menor tamaño de fruto a cosecha (Marsal et al., 2008, 2000, Naor, 2000, Ebel et al., 1993). Respecto a esta disminución en el tamaño de fruto, el déficit hídrico controlado durante el estadio I de crecimiento de fruto provocó una disminución significativa en su tasa de crecimiento (Marsal et al., 2000). Adicionalmente, se observó que el riego deficitario en el estadio II de crecimiento de fruto provoca una disminución de la masa de los frutos a cosecha (Marsal et al., 2008), mientras que en otros estudios señalan que, aplicando niveles de déficit hídrico en distintas etapas de crecimiento de fruto, el tamaño de fruta a cosecha no fue afectado

respecto a los controles (Lepaja et al., 2015, Behboudian et al., 1994, Caspari et al., 1994, Ramos et al., 1994).

La maduración de los frutos ocurre durante la fase III e implica una serie de cambios físico-químicos, como la pérdida de firmeza de pulpa, la disminución del contenido de almidón, el incremento en la concentración de sólidos solubles, la disminución de la concentración de acidez, el cambio de color del pericarpo del fruto, entre otros. En los frutos como la pera, algunos de estos cambios son consecuencia del incremento en la producción de etileno (Agustí, 2010). Trabajos en los que se estudia el efecto del déficit hídrico sobre la maduración muestran que las plantas regadas de forma deficitaria se caracterizan por tener una menor firmeza de pulpa a cosecha y un menor porcentaje de azúcares (Marsal et al., 2000). Antecedentes en manzanas señalan que un estrés hídrico controlado durante la fase de elongación celular adelantaron el inicio del pico de etileno (síntesis logarítmica) respecto a las que no recibieron estrés hídrico controlado. En cosecha, las manzanas fueron más pequeñas y con una mayor concentración de sólidos solubles. Esto se aduce a un posible ajuste osmótico dado por la deshidratación que presentaba la fruta tratada con déficit hídrico controlado (Ebel et al., 1993).

1.5. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue estudiar las respuestas ecofisiológicas de perales sobre dos portainjertos a condiciones de estrés hídrico prolongado. Como objetivos específicos se plantearon:

1. Cuantificar el efecto del déficit hídrico sobre variables de crecimiento vegetativo,
2. Evaluar el efecto del déficit hídrico en variables asociadas a la calidad de la pera,
3. Identificar si hay una combinación de portainjerto / Williams más tolerante al déficit hídrico a través de la evaluación de variables fisiológicas y productivas, y evaluar la respuesta de retorno en la temporada post-estrés.

2. EFECTOS DEL DEFICIT HÍDRICO PROLONGADO EN PERAL WILLIAMS SOBRE DOS PORTAINJERTOS

Artículo a presentar a la revista *Scientia Horticulturae*.

Lucía Bentancor^a, Georgina Garcia-Inza^b

^a Facultad de Agronomía, Universidad de la República (UDELAR)

^b Estación Experimental INIA Las Brujas, Programa Nacional de Investigación en Producción Frutícolas, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Canelones 90200, Uruguay.

Autor correspondiente: lbentancordeleon@gmail.com

2.1. RESUMEN

El cultivo del peral europeo (*Pyrus communis*) es predominante en países como China, Italia y Estados Unidos. Uruguay produce peras de calidad exportable en condiciones edafoclimáticas particulares. Las precipitaciones promedio anuales superan los requerimientos hídricos del cultivo; sin embargo, la dispersión entre los momentos de ocurrencia lo pueden exponer a situaciones de estrés hídrico en momentos críticos. En años Niña, la probabilidad de eventos con déficit hídrico se incrementa. La tecnología del riego y los diferentes portainjertos son herramientas que pueden contrarrestar los efectos del déficit hídrico. Sin embargo, las respuestas del peral europeo ante diferentes niveles de déficit hídrico y portainjertos no han sido estudiadas ampliamente en Uruguay. Este trabajo evaluó las respuestas del peral sobre dos portainjertos ante dos condiciones hídricas. En la temporada 2020-2021, se evaluaron cuatro combinaciones de portainjertos y riegos: *Pyrus calleryana* / Williams y OH × F333 / Williams, con irrigación y sin irrigación. Durante la temporada 2021-2022, se evaluaron las combinaciones de Williams sobre los diferentes portainjertos, sin irrigación. La conductancia estomática (CE) fue un indicador sensible del estrés hídrico en los perales, y los árboles regulaban su CE de manera similar, independientemente del portainjerto evaluado. No se observaron diferencias significativas en el peso de los frutos debido a los tratamientos de riego. En la temporada 2021-2022, la combinación *P. calleryana* / Williams mostró una

mayor CE y se consideró más tolerante a la sequía. El rendimiento fue afectado por el portainjerto, resultando más productivo el OH × F333. El contenido de sólidos solubles totales (CSST) aumentó en frutos sometidos a déficit hídrico. En estas condiciones, el peral europeo demostró plasticidad frente al estrés hídrico y no generó efectos diferenciales en la productividad de los perales, y mejoró aspectos de calidad como el CSST.

Palabras clave: conductancia estomática; *Pyrus communis*; *Pyrus calleryana*; portainjerto OH×F 333; ENSO

2.2. SUMMARY

The European pear tree (*Pyrus communis*) crop is predominant in countries such as China, Italy and the United States. Uruguay produces exportable quality pears under particular edaphoclimatic conditions. The annual rainfall average exceeds the water requirements of the crop; however, the dispersion between the moments of occurrence can expose it to situations of water stress at critical moments. In La Niña years, the probability of events with water deficit increases. Irrigation technology and different rootstocks are tools that can counteract the effects of water deficit. However, the responses of the European pear tree to different levels of water deficit and rootstocks have not been widely studied in Uruguay. This work evaluated the responses of the pear tree on two rootstocks under two water conditions. On 2020-2021 seasons four rootstock and irrigation combinations were evaluated: *Pyrus calleryana* / Williams and OH × F333 / Williams, with and without irrigation. During the 2021-2022 season, the Williams combinations were evaluated on the different rootstocks, without irrigation. Stomatal conductance (CE) was a sensitive indicator of water stress in pear trees, and trees regulated their CE in a similar way, regardless of the rootstock tested. No significant differences were observed in the weight of the fruits due to the irrigation treatments. In the 2021-2022 season, the combination *P. calleryana* / Williams showed a higher CE and was considered more tolerant to drought. Yield was affected by the rootstock, OH × F333 being more productive. The content of total soluble solids

(CSST) increased in fruits subjected to water deficit. Under these conditions, the European pear tree demonstrated plasticity against water stress and did not generate differential effects on the productivity of the pear trees, and improved quality aspects such as CSST.

Keywords: conductancia estomática; *Pyrus communis*; *Pyrus calleryana*; OHxF; ENSO

2.3. INTRODUCCIÓN

El cultivo del peral europeo (*Pyrus communis*) abarcaba una superficie mundial de 1,40 Mha en el año 2021, y la producción fue de 25,7 Mt, siendo los principales países productores China, Italia y Estados Unidos (FAOSTAT, 2023). Las áreas típicas donde se cultivan frutales de hoja caduca se dan entre las latitudes 30° y 50°, el peral europeo particularmente se desarrolla preferentemente en climas áridos y los requerimientos de frío de la especie van desde las 620 a 1800 horas de frío por debajo de 7,2 °C (Gariglio et al., 2008).

Uruguay se considera una zona atípica para el cultivo del peral, si bien se encuentra ubicado entre las latitudes 30° y 35° S, se caracteriza por tener un clima templado húmedo y las elevaciones máximas rondan los 500 m sobre el nivel del mar. Estas condiciones generan que en algunos años no se logre acumular el frío suficiente que requiere el cultivo para culminar la endodormancia (Castaño et al., 2011; Severino et al., 2011). Este problema se observa en el principal cultivar, Williams, que ocupa el 89 % de la superficie plantada (MGAP-DIGEGRA, 2021) y tiene un requerimiento de 1.500 horas de frío, lo cual lo cataloga como un cultivar de altos requerimientos de frío (Westwood, 1982).

La precipitación promedio anual de Uruguay es de 1200 a 1600 mm y presenta una alta variabilidad interanual en la distribución de acumulados mensuales (Castaño et al., 2011). En los últimos tres años se han observado efectos del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENSO) en fase La Niña (Jones, 2022). Para Uruguay, los eventos La Niña implican que se dé una menor probabilidad de precipitaciones, sobre todo en los

meses de octubre-diciembre (Vicente-Serrano et al., 2011; Pisciotano et al., 1994), meses durante los cuales se dan la floración y el cuajado del peral. Algunos motivos que agravan la situación son que el 30 % de la superficie destinada a la producción no tiene sistemas de riego instalado (MGAP-DIEA, 2020); adicionalmente, gran parte de los productores no poseen de fuentes de agua o las fuentes de agua no suministran el volumen suficiente para sobrellevar la demanda del cultivo (Tiscornia et al., 2016; Zoppolo et al., 2009; Pisciotano et al., 1994).

Algunos portainjertos utilizados en Uruguay, para el cultivo de perales son el *Pyrus calleryana* y el Old Home × Farmingdale 333 (OH × F 333). *P. calleryana* es una especie que se adapta a climas templados, a suelos arenosos y arcillosos, siendo tolerante tanto a suelos húmedos como secos. Se caracteriza además por ser una especie vigorosa (Cabrera y Rodríguez, 2012; Da Silveira Pasa et al., 2012; Dalazen et al., 2012), retrasando el inicio en producción y dificultando el manejo cuando se utiliza como portainjerto de perales europeos, lo que genera mayores costos de producción (Cabrera y Rodríguez, 2012). Por otro lado, el OH × F 333 se caracteriza por ser semivigoroso, presentar una alta eficiencia productiva y entrar rápidamente en producción (Cabrera y Rodríguez, 2015, 2012; Carrera et al., 2005; Rodríguez y Castro, 2002; Wertheim, 2002; Westwood, 1982).

El crecimiento de los frutos del peral se corresponde con una curva sigmoidea (Hendrickson y Veihmeyer, 1941) con tres fases. En la fase I ocurre la división celular, la cual dura entre seis y ocho semanas (Bain, 1961); en la fase II se da la mayor tasa de crecimiento de fruto y se corresponde sobre todo con el aumento de tamaño celular, y la fase III se asocia con la disminución del crecimiento celular y la maduración del fruto (Agustí, 2008). El estrés hídrico afecta diferencialmente al fruto según la fase en la que ocurra. El déficit hídrico aplicado la fase de crecimiento I y a la fase II llevó a un menor tamaño de fruto a cosecha (Marsal et al., 2008, 2000; Naor, 2000; Ebel et al., 1993). Adicionalmente, el riego deficitario en la fase de crecimiento de fruto provocó una disminución de la masa de frutos a cosecha (Marsal et al., 2008). Por otro lado, en otros estudios, aplicando diferentes niveles de déficit hídrico en distintas etapas de crecimiento de fruto, el tamaño de fruta a cosecha no fue afectado con

respecto a tratamientos en los cuales no se aplicaron déficit (Lepaja et al., 2015; Behboudian et al., 1994; Caspari et al., 1994; Ramos et al., 1994).

En frutales de hoja caduca a los cuales se aplicaron diferentes niveles de déficit hídrico durante la fase I de fruto, la conductancia estomática (CE) disminuyó (Babaei et al., 2021; Marsal et al., 2008, 2000; O'Connell y Goodwin, 2007; Naor, 2000; Behboudian et al., 1994; Caspari et al., 1994). El riego deficitario aplicado en la fase II de crecimiento de fruto también provocó una disminución de la CE (Marsal et al., 2008).

Se han realizado pocos estudios acerca de los efectos del déficit hídrico en peral y la mayoría de estos se han realizado sobre plantaciones nuevas e improductivas (Babaei et al., 2021; Lepaja et al., 2015; Marsal et al., 2008, 2000, Behboudian et al., 1994; Caspari et al., 1994). Por otro lado, casi no hay evaluaciones sobre los efectos del déficit hídrico sobre la combinación de Williams sobre diferentes portainjertos.

El objetivo general de este trabajo fue estudiar las respuestas ecofisiológicas de perales sobre dos portainjertos a condiciones de estrés hídrico prolongado. Como objetivos específicos se planteó identificar una combinación de portainjerto / Williams más tolerante al déficit hídrico a través de la evaluación de variables fisiológicas y productivas y la calidad de fruto. Adicionalmente, se planteó evaluar la respuesta en la temporada posterior (post-estrés).

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Sitio experimental

Los experimentos se realizaron durante la zafra 2020-2021 y 2021-2022 en la estación experimental INIA Las Brujas, Canelones (Uruguay). Se utilizaron perales Williams sobre los portainjertos OH × F 333 y *P. calleryana* (PC); los árboles fueron plantados en 1998; el marco de plantación fue de 5 m × 1,5 m (1333 plantas/ha); el sistema de conducción era de líder central; la entrefila se encontraba empastada.

El suelo se clasificó como Brunosol Eutrico Típico (argiudol típico), con un horizonte A (20 cm de profundidad) y un horizonte B (40 cm de profundidad). El horizonte A presenta una textura franco arcillo limosa (16 % arena, 45 % limo, 38 % arcilla), al igual que el horizonte B (16 % arena, 43 % limo, 41 % arcilla).

2.4.2. Tratamientos

En la temporada 2020-2021, se aplicaron cuatro tratamientos a partir del 23 de diciembre hasta cosecha. Los tratamientos de riego consistieron en regar las parcelas de acuerdo con el criterio utilizado en la estación experimental (R) y sin riego (SR), sobre las dos combinaciones de portainjertos PC y OH × F 333 y Williams (Tabla 1). En esta temporada, el período de tratamiento abarcó 41 días. Luego se retomó el riego en todas las plantas y se evaluó la recuperación ante los tratamientos aplicados, durante un período de aproximado de 90 días.

Tabla 1. Descripción de tratamientos aplicados en las zafras 2020-2021

Identificación	Descripción
R-PC	Riego en <i>P. calleryana</i> / Williams
R-OH × F333	Riego en OH × F 333 / Williams
SR -PC	Sin riego en <i>P. calleryana</i> / Williams
SR-OH × F333	Sin riego en OH × F 333 / Williams

El riego fue por goteo, con una línea de riego por fila y goteros cada 1 m de 4 L/h. La lámina de riego fue en promedio de 4 mm por día con un máximo de 7,2 mm y un mínimo de 2,3 mm durante el período en el cual se establecieron los tratamientos. Para realizar los balances hídricos en cada temporada, se utilizó el programa SimDualKc (Godinho et al., 2007).

En la Tabla 2, se observan los contenidos promedios de agua retenida a diferentes tensiones para tres estratos de profundidad del suelo donde se llevaron a cabo los ensayos.

Tabla 2. Valores de retención de agua y densidad aparente promedio para diferentes niveles de tensión de agua y estratos de profundidad del suelo donde fueron llevados a cabo los experimentos durante las temporadas 2020-2021 y 2021-2022

Profundidad de suelo (cm)	Densidad aparente de suelo (g.cm ⁻³)	Tensión de agua en el suelo (cm H ₂ O)				
		0	30	1000	5000	15000
Agua retenida (mm)						
0 – 20	1,41	43,36	41,95	39,10	36,30	33,47
20 – 40	1,52	37,80	37,29	35,17	34,29	33,65
40 – 60	1,38	41,78	41,38	40,40	39,34	38,82

Los datos climáticos utilizados para elaborar el balance fueron: evapotranspiración de referencia, precipitaciones, radiación solar, velocidad del viento, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa promedio y humedad relativa mínima. Estos datos fueron obtenidos de banco de datos agroclimáticos de la unidad GRAS del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA-GRAS, 2023). En ambas temporadas la superficie de suelo de las

parcelas tratadas se cubrió con nylon. En la Figura 1, se puede observar el estado de los árboles que se seleccionaron para llevar a cabo los ensayos y la metodología que se utilizó para cubrir las filas con nylon. Se consideró que durante el período de estudio las precipitaciones superiores a 40 mm lograron infiltrar al suelo que estaba por debajo del nylon. Para los tratamientos con riego (R-PC y R-OH × F333), se consideraron como oferta hídrica la irrigación y las precipitaciones superiores a 40 mm, mientras que para los tratamientos sin riego (SR-PC y SR-OH × F333), solo se consideraron las lluvias superiores a 40 mm.

Los registros de los riegos se realizaron con un contador (marca AHS). Se utilizaron los coeficientes de cultivo (KC) para perales establecidos en FAO-56 (Richard et al., 2006), de acuerdo a la fenología del cultivo.

En la temporada 2021-2022, se evaluó el impacto del tratamiento hídrico de la temporada anterior (2020-2021). Para evaluar dichos efectos, todas las plantas estuvieron bajo el mismo tratamiento hídrico (SR).



Figura 1. Ejemplo de árboles utilizados para los ensayos llevados a cabo durante las temporadas 2020-2021 y 2021-2022 y presentación del nylon colocado sobre las parcelas

2.4.3. Evaluaciones

La humedad en el suelo se monitoreó a través de sensores FDR (Frequency-domain sensors, 10HS, Decagon Devices, Pullman, WA, USA), se instalaron dos FDR en las parcelas que no fueron regadas, a 15 cm y a 40 cm de profundidad. Los sensores emitían datos cada 15 min.

La conductancia estomática ($\text{nmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$) se midió con un porómetro foliar (SC-1, Decagon Devices, Pullman, WA, USA) con precisión de $\pm 10\%$. El instrumento fue calibrado previo a la medición de acuerdo con el manual del fabricante. Se seleccionaron hojas al azar, expuestas a la luz solar, del 2/3 de la canopia cada siete días a tres hojas por árbol. Se muestrearon hojas de brindillas sin frutos. Las evaluaciones comenzaron el 10 diciembre de 2020 y culminaron el 9 de abril de 2021

para el primer año de evaluación, y para el segundo año comenzaron el 13 de diciembre de 2021 y culminaron el 29 de enero de 2022. Las evaluaciones se realizaron entre las 12:00 y 14:00 horas.

Se determinó el calibre ecuatorial de 20 frutos por árbol con frecuencia semanal. Los frutos se eligieron al azar y se midieron desde diciembre hasta la cosecha con un calibre digital (Mitutoyo, Japón).

El peso fresco y seco de fruto se determinó cada 10 días. Para ello se cosecharon tres frutos al azar por planta, los cuales inicialmente fueron pesados para determinar su peso fresco y luego se dejaron secar por siete días en una estufa a 60 °C. Una vez pasado el período de secado, se determinó el peso seco.

La producción por árbol a cosecha se obtuvo contando el número y determinando el peso de frutos, utilizando una balanza.

Se evaluó la firmeza de pulpa a 5 frutos por árbol, desde el 15 de enero hasta la cosecha. Se utilizó un penetrómetro digital (tr® Turoni, Italia) con un émbolo de 8 mm. Simultáneamente se evaluó el contenido de sólidos solubles (°Brix) a los mismos frutos con un refractómetro (Atago ATG-1, Japón). La cosecha inició cuando se alcanzaron en promedio valores de 80,1 a 88,9 N de firmeza de pulpa y 12 °Brix. En la temporada 2020-2021, los frutos fueron cosechados el 2 de febrero de 2021 y en la temporada 2021-2022, el 3 de febrero de 2022.

Se ajustaron funciones matemáticas lineales a las relaciones entre las variables: humedad del fruto y CSST en función de la CE. Informamos aquellas funciones que proporcionaron los mejores ajustes con un mayor nivel de significancia ($p < 0,05$ y $R^2 > 0,4$). Estos análisis y los gráficos se realizaron con GraphPad.Software Prism versión 5.01.

En la zafra 2020-2021, se midió la producción de etileno (ppm) de 2 frutos por árbol utilizando un equipo portátil de medición de etileno (F-900 Felix, Estados Unidos), cada cuatro días, desde una semana antes de la cosecha prevista. Para llevar a cabo la medición, los frutos se colocaban dentro de un frasco hermético, de 500 cm³ de volumen, durante cuatro horas. El frasco contaba con un septo sobre el que se pinchaba una jeringa con aguja para extraer la muestra de 10 mm de gas, la cual se

inyectaba al equipo portátil. En la Figura 2, se pueden observar el material y la metodología utilizada para medir etileno.

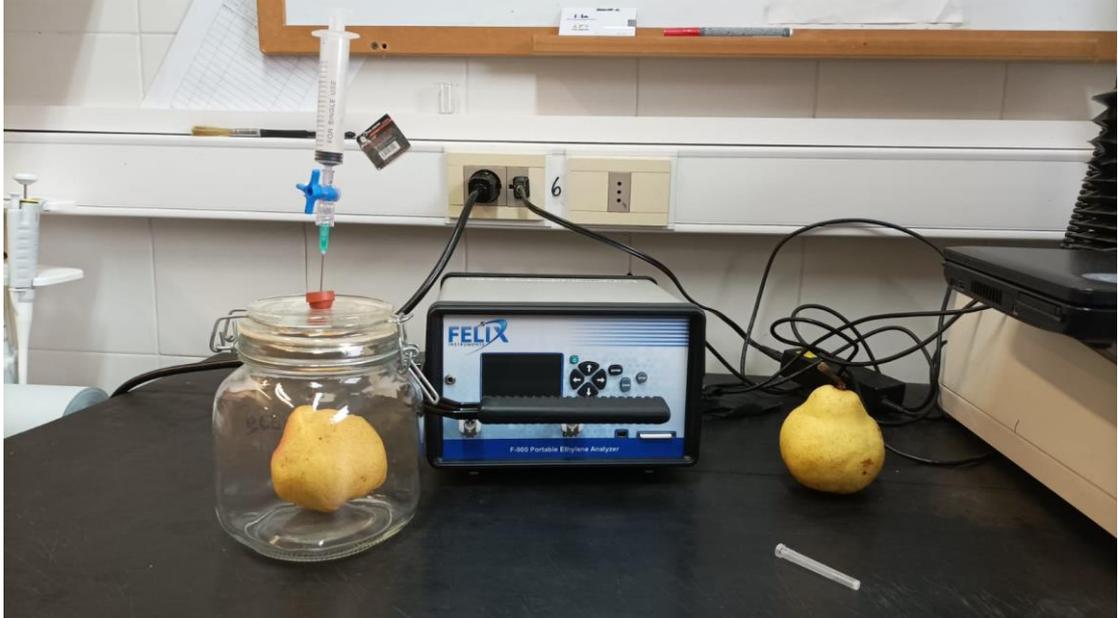


Figura 2. Material y metodología utilizados para realizar la medición de etileno en la temporada 2020-2021.

2.4.4. Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con en el siguiente modelo bifactorial:

$$Y = \mu + \text{factor irrigación} + \text{factor portainjerto} + \text{factor irrigación} * \text{portainjerto} + \varepsilon$$

donde Y representa la respuesta a la repetición de los diferentes niveles de irrigación y de los diferentes portainjertos, μ representa una media general y ε es el error aleatorio asociado a las diferentes observaciones.

Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento y la unidad experimental consistió en dos árboles por repetición. Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) con la prueba de medias Tukey ($p < 0,05$) para el análisis de comparaciones múltiples. El programa utilizando fue Infostat (Balzarini et al., 2008). Cuando se detectaron diferencias significativas dadas por los efectos principales (portainjerto; irrigación) o por la interacción de ambos, en las figuras donde

se expresan los resultados se representaron de la siguiente manera: las diferencias dadas por irrigación, con el símbolo ×; las diferencias dadas por el portainjerto, con un *, y las diferencias dadas por la interacción de ambos efectos, con letras en minúscula.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Análisis oferta hídrica año 2020-2021

Durante la temporada 2020-2021, los tratamientos iniciaron el 23 de diciembre del 2020 en la fase II de crecimiento y las peras fueron cosechadas el 2 de febrero en fase III. En la Figura 3A, se puede observar la evolución de agua disponible para los tratamientos R-PC y R-OH×F 333, mientras que en la Figura 3B se puede observar la evolución de agua disponible para las plantas no regadas (SR-PC y SR-OH×F 333).

Respecto a los tratamientos con riego, la relación entre la evapotranspiración actual (ETA) y la evapotranspiración máxima (ETM) promedio fue de 81,7 %, lo cual indica que los tratamientos regados evapotranspiraron un 18,3 % por debajo de los requerimientos hídricos del cultivo (Figura 3A). Por otro lado, para los tratamientos sin riego, el déficit hídrico inició desde que se detuvo el riego hasta la cosecha (Figura 3B). La relación ETA/ETM en este tratamiento fue de 54,8 %, en promedio, lo cual indica que el cultivo evapotranspiró 26,9 % menos que en el tratamiento con riego.

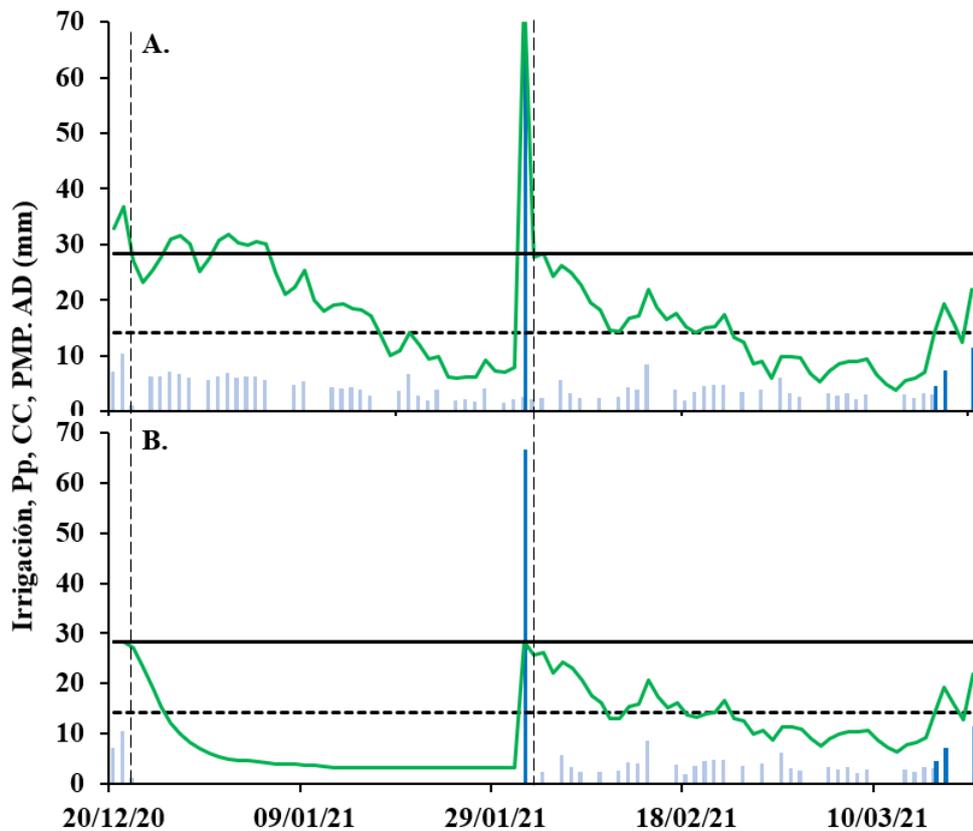


Figura 3. A. Balance hídrico para los tratamientos R-PC y R-OH \times F 333 para la temporada 2020-2021. B. Balance hídrico para los tratamientos SR-PC y SR-OH \times F 333 para la temporada 2020-2021, donde la línea negra indica la capacidad de campo (CC); la línea negra punteada, el nivel de agua permitido a partir del cual la planta comienza a sufrir estrés (p); la línea verde, el agua disponible (AD); las barras celestes, la lámina de riego diaria; las barras azules, las precipitaciones y las barras negras partidas, el período en el cual fue llevado a cabo el experimento. La profundidad de suelo para la cual se elaboró el balance fue de 60 cm.

2.5.2. Análisis oferta hídrica año 2021-2022

Durante la temporada 2021-2022, se evaluaron los efectos de los tratamientos aplicados en la temporada 2020-2021. La oferta hídrica considerada fueron las precipitaciones superiores a 40 mm, ya que el suelo alrededor de los árboles permaneció cubierto. En la Figura 4 se puede observar el balance hídrico para dicha

temporada. En este caso, la relación ETA/ETM fue de 14,8 %, lo cual indica que el cultivo evapotranspiró, en promedio, aproximadamente, el 15 % del agua que requirió.

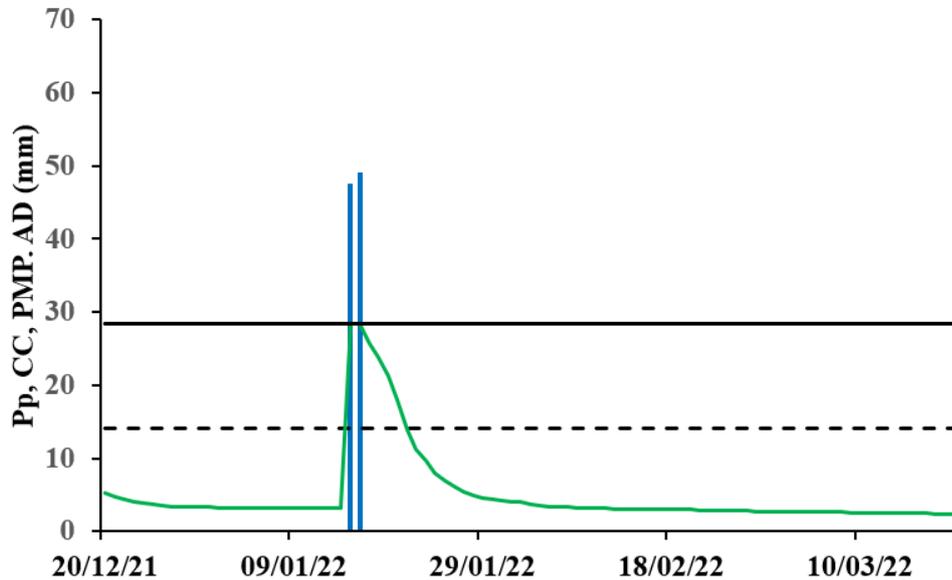


Figura 4. Balance hídrico para los tratamientos aplicados en la temporada 2021-2022, donde la línea negra indica la capacidad de campo (CC); la línea negra punteada, el nivel de agua permitido a partir del cual la planta comienza a sufrir estrés (p); la línea verde, el agua disponible (AD), y las barras azules, las precipitaciones. La profundidad de suelo para la cual se elaboró el balance fue de 60 cm.

2.5.3. Estado hídrico de las plantas

Durante la temporada 2020-2021, la CE disminuyó significativamente a partir de 13 días del inicio del tratamiento sin riego (SR-PC y SR-OH×F 333) con respecto a los tratamientos regados (R-PC y R-OH × F333). Las diferencias en CE entre tratamientos de riego fueron significativas durante todo el período de tratamiento y alcanzaron la máxima diferencia en promedio (26,3 %) a los 37 días desde el inicio del tratamiento (Figura 5).

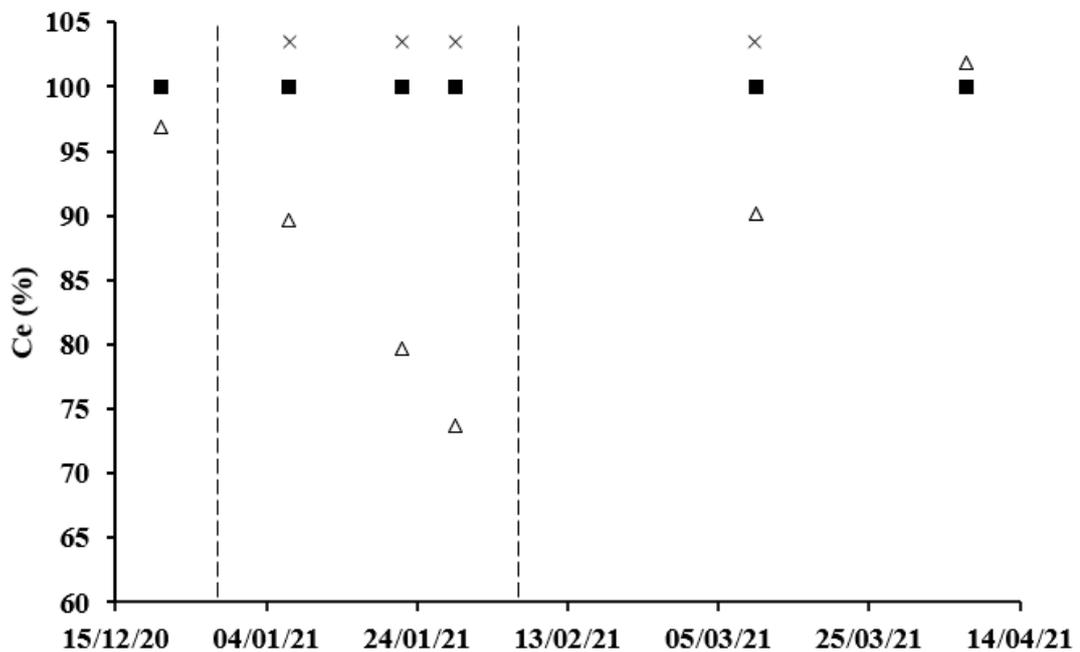


Figura 5. CE relativa de los tratamientos sin riego (SR-PC y SR-OH×F 333), respecto al tratamiento con riego (R-PC y R-OH×F 333) durante la temporada 2020-2021. Las líneas partidas verticales delimitan el período de tratamiento, los cuadrados llenos representan el 100 % de la CE de los tratamientos con riego y los triángulos vacíos representan la variación de la CE de los tratamientos sin riego promedio respecto a los tratamientos regados. Las equis indican diferencias significativas entre los tratamientos explicadas por el efecto irrigación ($p < 0,05$). Cada punto representa la media para la fecha de evaluación.

Por otro lado, la tasa de descenso de la CE para los tratamientos sin riego fue similar entre los portainjertos PC y OH × F 333, siendo la disminución relativa de la CE al final del período de tratamiento de 28,75 % y 23,79 % para OH × F 333 y PC, respectivamente. Ambos portainjertos alcanzaron los valores de conductancia similares a los de las plantas regadas 70 días después de retomar el riego (Figura 5).

Durante la temporada 2021-2022, se observa la CE de los árboles que en la temporada anterior habían recibido los tratamientos R-PC, SR-PC, R-OH × F333 y SR-OH × F333 (Figura 6). En esta segunda temporada, todos los árboles estuvieron expuestos a restricción hídrica y no se observaron diferencias significativas por el efecto irrigación del año anterior. Se observaron diferencias significativas entre

portainjertos, siendo *P. calleryana* el que mostró mayor CE en las últimas tres fechas de evaluación antes de la cosecha.

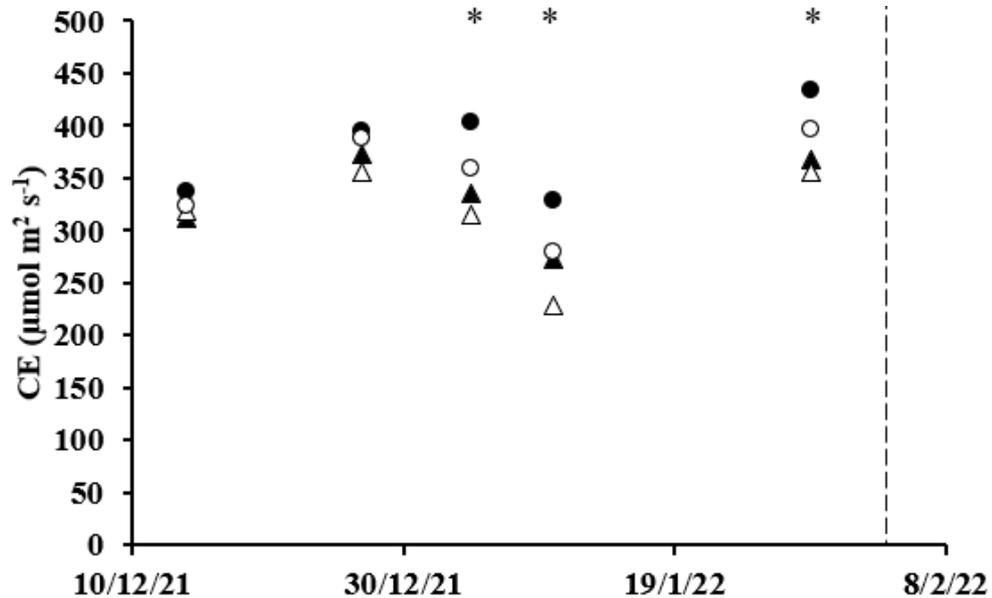


Figura 6. CE evaluada en la temporada 2021-2022 de los tratamientos SR-PC y SR-OH \times F333 respecto a los tratamientos SR-PC y SR-OH \times F333 aplicados durante la temporada 2020-2021, donde los círculos llenos se corresponden el tratamiento R-PC; los círculos vacíos, con el tratamiento SR-PC; los triángulos llenos, con el tratamiento R-OH \times F333; los vacíos con el tratamiento SR-OH \times F333; la línea partida el final de los tratamientos y los asteriscos, diferencias significativas dadas por el portainjerto ($p < 0,05$). Cada punto representa la media para cada fecha de evaluación.

2.5.4. Efecto del estrés hídrico prolongado sobre variables de crecimiento y productivas

El diámetro ecuatorial de frutos mostró diferencias significativas por los efectos irrigación, portainjerto y la interacción de ambos, y alcanzó diferencias a cosecha de 2 mm, en promedio, entre los tratamientos regados y sin regar (Figura 7), sin ser esta diferencia una limitante para la comercialización de la fruta.

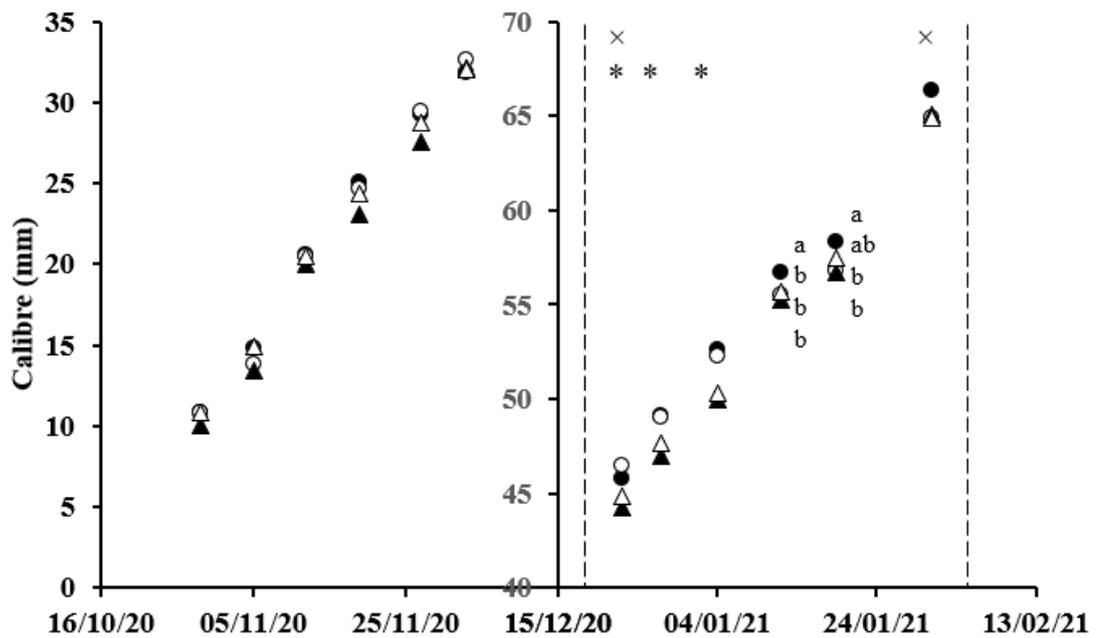


Figura 7. Diámetro ecuatorial de frutos de pera Williams evaluado durante la temporada 2020-2021, donde las líneas punteadas indican el período de tratamiento; los círculos y triángulos llenos, los tratamientos R-PC y R-OH x F333, respectivamente; los círculos y triángulos vacíos, los tratamientos SR-PC y SR-OH x F333, respectivamente. Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos; las cruces, diferencias significativas por el efecto irrigación, y los asteriscos, diferencias significativas por los portainjertos ($p < 0,05$). Cada punto representa la media para cada fecha de evaluación.

Se observaron diferencias en producción en la temporada 2020-2021 entre tratamientos. Estas diferencias se explican por el efecto del portainjerto, significativa entre los efectos portainjerto y riego, y tampoco siendo significativo el factor riego. El portainjerto OH x F 333 fue el portainjerto que demostró una mayor productividad explicada por las diferencias en la variable número de frutos, siendo mayor este número para dicho portainjerto. Las diferencias en peso fresco de los frutos y el peso seco no fueron significativas entre tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la evaluación de variables productivas para los tratamientos aplicados en las temporadas 2020-2021 y 2021-2022.

Parámetros evaluados	Temporada 2020-2021			
	R-PC	SR-PC	R-OH × F333	SR-OH × F333
N.º frutos/árbol	168 a*	169 a	305 b	290 b
Peso de fruto (g)	133,08	141,78	127,61	122,68
Peso seco fruto (g)	18,61	26,19	22,21	23,32
Producción (kg/árbol)	22,25 a	22,86 a	38,94 b	35,84 b

Parámetros evaluados	Temporada 2021-2022			
	R-PC	SR-PC	R-OH × F333	SR-OH × F333
N.º frutos/árbol	157 b	181 b	290 a	293 a
Peso de fruto (g)	144,27	143,43	127,81	134,95
Producción (kg/árbol)	21,92 b	25,82 b	37,08 a	39,28 a

*Los valores representan las medias. Las letras indican diferencias significativas por el efecto del portainjerto ($p < 0,05$)

En la temporada 2021-2022, donde se evaluó el impacto del estrés prolongado del año anterior, los resultados fueron similares (Tabla 3): se observó que el portainjerto OH × F 333, nuevamente fue más productivo.

2.5.5. Efectos en los índices de madurez

En la evaluación poscosecha se pudo observar que, a partir del día 7, la pérdida de firmeza de pulpa fue significativamente mayor para la fruta proveniente de árboles R-PC y R-OH × F333 y que estas diferencias se debieron al efecto irrigación (Figura 8).

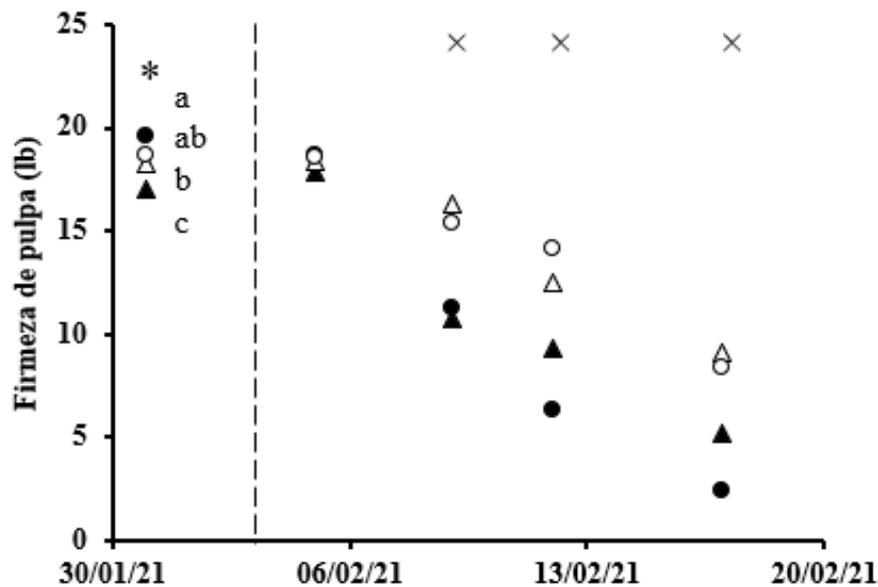


Figura 8. Firmeza de pulpa promedio en función de los días poscosecha (DPC). Los triángulos llenos corresponden al tratamiento R-OH \times F333; los triángulos vacíos, al SR-OH \times F333; los círculos llenos, al R-PC; los círculos vacíos, al SR-PC. Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos; los asteriscos, diferencias significativas dadas por el portainjerto, y las equis, diferencias significativas dadas por el riego ($p < 0,05$). Cada punto representa la media para cada fecha de evaluación.

En la Tabla 3, se puede observar el DPC en el cual se obtuvo la mayor producción de etileno de los frutos de los distintos tratamientos y la relación con la suma de la conductancia estomática. Es así que los frutos del tratamiento R-PC y R-OH \times F333 presentaron la máxima producción de etileno a los 14 y 16 DPC, en promedio, respectivamente. Por otro lado, en cuanto a los frutos obtenidos del tratamiento SR-PC y SR-OH \times F333, la máxima producción de etileno fue a los 18 y 21 DPC, en promedio, respectivamente. En consecuencia, los frutos obtenidos de los tratamientos sin riego demoraron el pico máximo de producción de etileno entre unos 4 y 5 días con respecto a los frutos obtenidos de los tratamientos con riego (Tabla 3).

Tabla 3. Relación entre la suma de conductancia estomática durante el período de tratamiento y los días poscosecha (DPC) en los cuales se produjo la máxima producción de etileno

Tratamiento	DPC Prod. máx. etileno	Prod. máx. etileno (ppm)
R-PC	14	42,15
SR-PC	18	39,16
R-OH × F333	16	39,85
SR-OH × F333	21	37,95

En la temporada 2020-2021, el CSST fue menor en los tratamientos R-OH × F333 y R-PC respecto a los tratamientos SR-OH × F333 y SR-PC. Estas diferencias fueron causadas por el efecto irrigación. Durante la temporada 2021-2022, se evaluó la evolución del CSST, en la cual no se observaron diferencias significativas (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de sólidos solubles totales (CSST) a cosecha entre los diferentes tratamientos para la temporada 2020-2021 y 2021-2022.

Temporada	CSST (°Brix)			
	R-OH × F333	SR-OH × F333	R-PC	SR-PC
2020-2021	12,97 a*	14,11 b	11,69 a	13,75 b
2021-2022	14,68	14,91	14,42	14,27

*Los valores representan las medias. Las letras indican diferencias significativas por el efecto irrigación ($p < 0,05$)

Por otra parte, se analizó la relación entre la CSST y la CE acumulada como estimador del estado hídrico de la planta. Esta relación muestra que en la medida en que la sumatoria de CE fue superior, los valores de CSST fueron menores. Adicionalmente, en la medida en que la suma de la CE fue superior, la humedad de fruto también fue mayor (Figura 9).

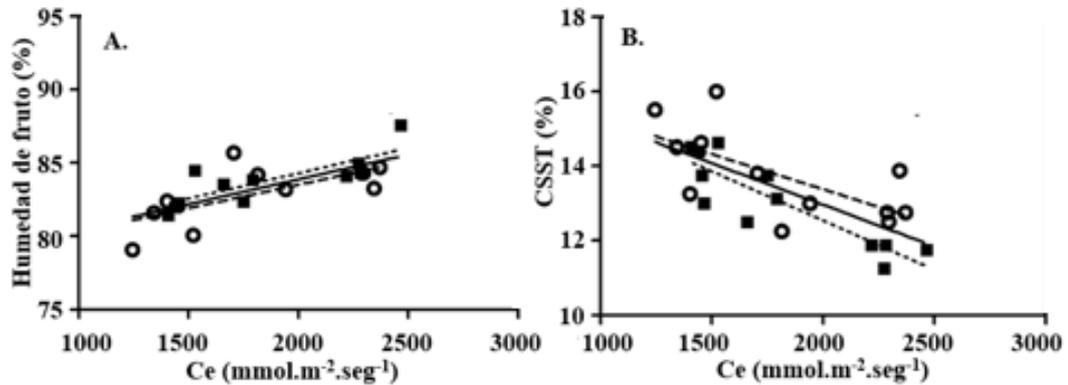


Figura 9. A. Humedad de fruto del fruto a cosecha en función de la CE acumulada durante el período del ensayo para la temporada 2020-2021, donde los círculos vacíos y las barras indican la correlación entre el portainjerto OH \times F 333 y la CE ($77,14+0,003185x$; R^2 0,48 y p-valor $< 0,01$); los cuadrados llenos y la línea punteada, entre el portainjerto *P. calleryana* y la CE ($77,39+0,003446x$; R^2 0,62, p-valor $< 0,001$), y la línea entera entre ambos portainjertos y la CE ($77,12+0,003378x$; R^2 0,52, p-valor $< 0,001$). B. CSST en el fruto a cosecha en función de la CE acumulada durante el período del ensayo para la temporada 2020-2021, donde los círculos vacíos y las barras indican la correlación entre el portainjerto OH \times F 333 y la CE ($17,15-0,00189x$; R^2 0,44, p-valor $< 0,01$); los cuadrados llenos y la línea punteada, entre el portainjerto *P. calleryana* y la CE ($17,82-0,00264x$; R^2 0,76, p-valor $< 0,001$), y la línea entera para ambos portainjertos y la CE ($17,43-0,00209x$; R^2 0,53, p-valor $< 0,001$).

2.6. DISCUSIÓN

Durante la temporada 2020-2021, se establecieron dos regímenes hídricos durante la fase de crecimiento II y III de los frutos para dos combinaciones de cultivar/portainjerto. Para los tratamientos en los cuales los frutales fueron regados, se consideraron como fuentes efectivas de agua tanto el agua suministrada por el sistema de riego como las precipitaciones superiores a 40 mm, lo cual permitió cubrir, en promedio, el 81,7 % de los requerimientos del cultivo para el período en estudio (Figura 3A). Por otro lado, para los frutales que no fueron regados, la única fuente

efectiva de agua que fue considerada fueron las precipitaciones superiores a 40 mm, lo cual permitió cubrir, en promedio, el 54,8 % de los requerimientos del cultivo (Figura 3B). Esta aproximación, acerca de los requerimientos cubiertos por las precipitaciones y/o el riego se obtuvo a partir de los balances hídricos realizados (Figuras 3 y 4). Es importante, destacar que los balances hídricos de suelo son una aproximación a la realidad, por lo que variables como el crecimiento de raíces por debajo de los 60 cm de suelo y que hubieran podido haber absorbido agua no se tuvieron en cuenta.

La CE resultó ser un buen indicador del estado hídrico de los perales, siendo sensible a los cambios en el estado hídrico generados por los tratamientos para ambas combinaciones cultivar/portainjerto (Figura 5). Este resultado muestra que los árboles, si bien estaban conformados por distintos portainjertos, regularon su CE de forma similar a pesar de los diferentes niveles de restricción hídrica. Esta disminución es consistente con resultados obtenidos en diversos trabajos sobre restricción hídrica en peral (Babaei et al., 2021; Marsal et al., 2008; O'Connell y Goodwin, 2007; Marsal et al., 2000; Naor, 2000; Behboudian et al., 1994; Caspari et al., 1994). Babaei et al. (2021). Estos trabajos, muestran la respuesta a la sequía en cinco especies del género *Pyrus* observaron que una de las primeras respuestas al déficit hídrico es la disminución a la CE por el cierre parcial de las estomas. Por otro lado, Caspari et al. (1994) señalan que la disminución de la CE puede ser considerada un mecanismo para disminuir el uso del agua, lo cual ayudaría a mejorar el estado hídrico de la planta. Se destaca que, a los 70 días poscosecha, no se detectaron diferencias significativas en la CE entre ninguno de los tratamientos. Esto refleja la capacidad de las diferentes combinaciones de portainjertos / cultivar para recuperarse de las condiciones de estrés hídrico a las cuales fueron sometidos.

En la segunda temporada (2021-2022), la CE fue significativamente diferente entre portainjertos en el último mes precosecha, siendo la combinación *P. calleryana*/Williams la que obtuvo mayores valores de CE (Figura 6). Esto puede explicarse porque al ser la misma oferta hídrica suministrada para ambas combinaciones de portainjerto/cultivar (Figura 4), las diferencias fueron explicadas por el portainjerto. Respecto al resultado obtenido, algunos autores definen a la combinación *P.*

calleryana / Williams como una combinación que tolera mejor las condiciones de déficit hídrico (Da Silveira Pasa et al., 2012; Dalazen et al., 2012).

En la temporada 2020-2021, el peso de fruto no se vio afectado por los diferentes tratamientos (Tabla 3), lo cual coincide con los resultados que obtuvieron algunos autores que sometieron a perales a diferentes niveles de déficit hídrico (Lepaja et al., 2015; Behboudian et al., 1994; Caspari et al., 1994; Ramos et al., 1994). Particularmente, Ramos et al. (1994) no obtuvieron diferencias en rendimiento ni en el peso de frutos promedio, pero sí observaron una correlación entre esta última variable y el potencial hídrico: un mayor peso de fruto se asociaba a un mayor potencial hídrico. Estos autores señalaron que, a pesar de la correlación entre ambas variables, hay otros factores que pudieron haber incidido en no haber tenido diferencias en el tamaño promedio de frutos, como pueden ser las características del suelo o la distribución de las raíces. Otros autores, como Lepaja et al. (2015), señalaron que no tuvieron diferencias en el diámetro ecuatorial de fruta al aplicar diferentes niveles de irrigación, pero sí lo mejoraron ante distintos niveles de irrigación cuando instalaban mulch en las filas. En este estudio, el diámetro de fruto presentó diferencias estadísticas en las diferentes fechas de evaluación, pero se explicaron por los efectos de los portainjertos, la irrigación y la interacción entre ambos (Figura 7). Estas diferencias, sin embargo, no representaron un diferencial en la calidad comercial.

La producción (kg/árbol) no varió significativamente por el efecto de la irrigación, pero sí se destacó el portainjerto OH × F333 como el más productivo con respecto a *P. calleryana*, lo que se reflejó en el componente de la producción cantidad de frutos por árbol (Tabla 3). Este resultado coincide con los trabajos realizados por Cabrera y Rodríguez (2015) y Da Silveira Pasa et al. (2012), quienes señalan que la serie de portainjertos OH × F son más productivos que portainjertos como *P. calleryana* debido a algunas de sus características como la mayor eficiencia productiva, explicada por el menor vigor de los portainjertos de la serie OH × F con respecto a *P. calleryana*. En lo que refiere al componente de la producción peso de fruto, tendió a ser menor en los frutos obtenidos de la combinación OH × F 333 / Williams. Esta tendencia se puede explicar por el mayor número de frutos obtenidos de esta última combinación.

Por otro lado, en la temporada 2021-2022, se repitió la menor eficiencia productiva de *P. calleryana* a cosecha (Tabla 3), donde, al igual que en la temporada 2020-2021, el número de frutos obtenido de árboles OH × F 333 / Williams fue superior al de árboles *P. calleryana* / Williams, lo cual conllevó una mayor producción por árbol (Cabrera y Rodríguez, 2015; Da Silveira Pasa et al., 2012).

La firmeza de pulpa (FP) es un índice utilizado para evaluar la madurez de fruto; en varios países se han generado estándares donde se fijan niveles máximos de madurez (niveles mínimos de FP) para su procesamiento en empaques de frutas (Mitcham y Gordon Mitchell, 2002). La evaluación de la disminución de la FP en poscosecha de la temporada 2020-2021 mostró diferencias significativas generadas por el tipo de irrigación (Figura 8). Se observó una reducción más acelerada de los frutos de árboles regados (R-PC y R-OH × F333). Considerando que la FP óptima de consumo de las peras es 6 lb (Kappel et al., 1995), los frutos provenientes del tratamiento SR-PC y SR-OH × F333, a los 13 días poscosecha (DPC) la FP se encontraba por encima del óptimo, mientras que en cuanto a los frutos provenientes de R-PC y R-OH × F333, a los 13 DPC ya presentan una FP inferior a la óptima. Esta diferencia en pérdida de firmeza durante los DPC, en los cuales se llevó a cabo la evaluación, podría implicar una ventaja para el consumidor, ya que los frutos que sean adquiridos inmediatamente después de su cosecha podrían mantener por más tiempo su calidad. Estos resultados no coinciden con obtenido por Marsal et al. (2000), quien señala que, ante diferentes niveles de irrigación, los frutos provenientes de árboles que recibieron déficit hídrico en diferentes magnitudes presentaron una disminución de la firmeza de pulpa más acelerada que la de los frutos que provenían de árboles que no recibieron déficit hídrico.

La mayor FP en poscosecha de los tratamientos SR-PC y SR-OH × F333 (Figura 8) pueden explicarse por la producción de etileno en poscosecha, la cual alcanzó su pico máximo de producción, en los frutos provenientes de tratamientos sin riego, de 4 a 5 días después que en los tratamientos con riego según las combinaciones de portainjerto / Williams evaluadas (Tabla 3). En los frutos climatéricos como la pera, la producción de etileno promueve diferentes procesos fisicoquímicos entre los cuales se destaca la disminución en la firmeza de pulpa (Mitcham y Mitchell, 2002).

Otra cuantificación asociada a la madurez de la pera es el contenido de sólidos solubles totales (CSST), en combinación a otros índices (Mitchan y Gordon Mitchell, 2002). El mayor CSST se observó en los frutos cosechados de árboles que recibieron tratamientos sin riego (SR-PC y SR-OH×F 333). Esto es consistente con lo reportado por Irving y Drost (1987) para manzanas, quienes obtuvieron un mayor CSST en manzanas obstinadas de tratamientos con déficit hídrico en la fase II de crecimiento de fruto. Crisosto et al. (1994) lograron duraznos con mayores CSST y un menor contenido de agua de durazneros tratados con irrigación deficitaria. En nuestro estudio, el mayor CSST de los frutos obtenidos de los tratamientos sin riego se asocia con el menor contenido de agua en fruto y también con una menor sumatoria de la CE evaluada hasta la cosecha de frutos. Esto se relaciona nuevamente con que la disminución de la CE podría ser considerado un mecanismo para reducir el uso del agua. Adicionalmente, el mayor CSST obtenido a cosecha de los tratamientos sin riego coincide con los resultados de diversos autores que estudiaron los efectos del déficit hídrico en frutales de hoja caduca (Marsal et al., 2000; Ramos et al., 1994; Ebel et al., 1993). No se observaron diferencias significativas a cosecha en el CSST obtenido en la temporada 2021-2022 (Tabla 4). Esto se puede explicar porque ambas combinaciones de cultivar/portainjerto se encontraban en las mismas condiciones de oferta hídrica.

2.7. CONCLUSIONES

Este trabajo proporciona evidencia experimental sobre el comportamiento del peral Williams en distintas situaciones de disponibilidad de hídrica. Nuestros resultados demuestran que el peral Williams es un cultivo que presentó plasticidad frente a condiciones variables de oferta hídrica durante la temporada 2020-2021, sostuvo la productividad y restableció su estado hídrico al restablecerse la disponibilidad de agua. Esta capacidad de aclimatación se observó independientemente del portainjerto evaluado y se manifestó a través de la regulación de la CE, un mecanismo utilizado por la planta para ajustar su estado hídrico en momentos de déficit hídrico.

Además, las condiciones de déficit hídrico planteadas en este estudio tuvieron un impacto en la calidad de las peras. En ambas temporadas de estudio, se constató un aumento en el CSST en respuesta al déficit hídrico. Este incremento en el CSST representa una mejora en la calidad de las peras. Adicionalmente, se observó un retraso en la disminución de la firmeza de la pulpa durante la etapa de poscosecha. Estos hallazgos indican que, estas condiciones de déficit hídrico, pueden influir en dichos atributos de calidad de las peras.

Por otro lado, en cuanto a la producción, no se observaron diferencias significativas entre las diferentes condiciones de oferta hídrica durante las temporadas 2020-2021 y 2021-2022. Sin embargo, la combinación OH × F 333 / Williams fue la más productiva en ambos períodos evaluados debido principalmente al mayor número de frutos por árbol.

Finalmente, estos resultados se pueden considerar como base para diseñar futuros ensayos de déficit hídrico controlado en árboles productivos que permitan ajustar los manejos del riego con el objetivo de mejorar tanto la eficiencia de uso de agua, como la calidad del fruto y sostener la productividad. Una opción que puede complementar los ensayos realizados a campo es desarrollar estudios paralelos con árboles en producción aislados, por ejemplo, a través del uso de macetas y materiales que sirvieran como cobertura de suelo e impidieran el ingreso de agua proveniente de precipitaciones. Los ensayos implementados con el uso de macetas podrían contribuir a entender respuestas fisiológicas puntuales, como la evaluación de la exploración radicular y cálculos sobre la eficiencia en el uso de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de apoyo de la Estación Experimental INIA Las Brujas. FONDOS

INIA financió la beca de la maestría de la primera autora y brindó el sitio y los materiales necesarios para efectuar el trabajo.

DECLARACIÓN DE INTERÉS EN COMPETENCIA

Las autoras declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo informado en este documento.

2.8. BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M., 2008. Crecimiento y maduración de fruto. En: Azcón-Bieto, Talón. (Eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España. (2). 25-41.
- Babaei, L., Sharifani, M.M., Darvishzadeh, R., Abbaspour, N., Henareh, M., 2021. Impact of drought stress on photosynthetic response of some pear species. *International Journal of Horticultural and Science Technology*, 8 (4): 353-369. doi:10.22059/ijhst.2020.309629.394.
- Bain, J.M., 1961. Some morphological, anatomical, and physiological changes in the pear fruit (*Pyrus communis* var. Williams Bon Chretien) during development and following harvest. *Australian Journal of Botany*, 2: 99-123. doi:10.1071/BT9610099.
- Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J., Robledo, C., 2008. Infostat: manual del usuario. [En línea]. 3 de setiembre del 2022. www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario
- Behboudian, M.H., Lawes, G.S., Griffiths, K.M., 1994. The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae*, 60: 89-9. doi:10.1016/0304-4238(94)90064-7.
- Cabrera, D., Rodríguez, P., 2012. Resultados experimentales portainjertos para peral. *Serie de actividades de difusión*, 687: 119-133.
- Cabrera, D., Rodríguez, P., 2015. Portainjertos para peral, evaluados para las condiciones del Uruguay. *Revista de Fruticultura*, 45: 48-55.
- Carrera, M., Espiau, M.T., Gómez-Aparisi, J., 2005. Pear rootstock trial: Behavior of “Conference” and “Doyenné du Comice” on two quince and five OHxF

- selections. *Acta Horticulturae*, 671: 481-484.
doi:10.17660/actahortic.2005.671.68.
- Caspari, H.W., Behhoudian, M.H., Chalmers, D.J., Renquist, A.R., 1994. Pattern of seasonal water use of asian pears determined by lysimeters and the heat-pulse technique. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118 (3): 562-569. doi:10.21273/jashs.118.5.562.
- Castaño, J.P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., 2011. Caracterización agroclimática del uruguay 1980-2009. Serie Técnica n.º 193.
- Crisosto, C.H., Scott Johnson, R., Luza, J.H., Crisosto, G.L., 1994. Irrigation regimes affect fruit soluble solids concentration and rate of water loss of 'O'Henry' peaches. *HortScience*.29 (10): 1169-1171.
- Da Silveira Pasa, M., Fachinello, J.C., Schmitz, J.D., de Souza, A.L.K, de Franceschi, É., 2012. Desenvolvimento, produtividade e qualidade de peras sobre porta-enxertos de marmeleiro e *Pyrus calleryana*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(3): 873-880. doi:10.1590/S0100-29452012000300029.
- Dalazen, B., De Rossi, A., Marcon, J.L., 2012. Porta enxertos. En: Rufato, L., Kretzschmar, A.A., Bogo, A. (Eds.) *A cultura da pereira*. Florianopolis: DIOESC (Série Fruticultura; 1). 172-187.
- Ebel, R.C., Proebsting, E.L., Patterson, M.E., 1993. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality, and storage life. *HortScience* 28 (2): 141-143. doi:10.21273/HORTSCI.28.2.141.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Statistics). 2022. Datos sobre alimentación y agricultura. [En línea]. 19 de junio del 2022. www.fao.org/faostat/es/#home
- Gariglio, N.F., Pilatti, R.A., Agustí Fonfría, M., 2008. Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. En: *Árboles frutales Ecofisiología Cultivo y Aprovechamiento*. Sozzi GO. (Eds.). Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía 43-78.
- Godinho, P., Sequeira, B., Paredes, P., Pereira, L.S., 2007. Cálculo das necessidades hídricas das culturas de acordo com a metodologia dos coeficientes culturais duais: o modelo SIMDualKc. [En línea]. 19 de junio del 2022.

www.researchgate.net/publication/237223393_CALCULO_DAS_NECESSIDADES_HIDRICAS_DAS_CULTURAS_PELA_METODOLOGIA_DOS_COEFICIENTES_CULTURAIS_DUAIS_O_MODELO_SIMDualKc

Hendrickson, A.H., Veihmeyer, F.J., 1941. Moisture distribution in soil in containers. *Plant physiology*. 16 (4): 821-826. doi: 10.1104/pp.16.4.821

INIA-GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria-Unidad de Agroclima y Sistemas de Información). 2023. Banco datos agroclimático. [En línea]. 20 de mayo del 2023.

Irving, D.E., Drost, J.H., 1987. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. *Journal of Horticultural Science* 62: 427-432.

Jones, N., 2022. Rare 'triple' La Niña climate event looks likely – what does the future hold? [En línea]. 15 de marzo del 2023. www.nature.com/articles/d41586-022-01768-y

Kappel, F., Fisher-Fleming, R., Hogue, E.J., 1995. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. *HortScience* 30: 988-993. doi:10.21273/HORTSCI.30.5.988.

Lepaja, L., Kullaj, E., Lepaja, K., Zajmi, A., 2015. Effects of regulated deficit irrigation, mulching and their combination on fruit diameter growth of young 'William' pears. En: 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture (50, 2015, Opatija). Book of Abstracts, 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture. Zagreb. University of Zagreb. 580-584.

Marsal, J., Rapoport, H.F., Manrique, T., Girona, J., 2000. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. *Scientia horticultrae*, 85: 43-259. doi:10.1016/S0304-4238(99)00151-X.

Marsal, J., Mata, M., Arbones, A., Del Campo, J., Girona, J., Lopez, G., 2008. Factors involved in alleviating water stress by partial crop removal in pear trees. *Tree Physiology*, 28: 1375 – 1382. doi:10.1093/treephys/28.9.1375.

- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2020. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo, Uruguay. 255 p
- MGAP-DIGEGRA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General de la Granja). 2021. Reporte Anual 2021 Registro nacional frutihortícola [Datos sin publicar.]
- Mitchan, E.J., Gordon Mitchell, L., 2002. Postharvest handling system: pome fruits. En: Kader, A. (Eds.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Richmond, University of California (3) 333-345.
- Naor, A., 2000. Irrigation and crop load interactions in relation to pear yield and fruit-size distribution. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(5): 555-561. doi: 10.1080/14620316.2000.11511285.
- O'Connell, M.G., Goodwin, I., 2007. Responses of "Pink Lady" apple to deficit irrigation and partial rootzone drying: Physiology, growth, yield, and fruit quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58: 1068-1076. doi:10.1071/AR07033.
- Pisciottano, G., Diaz, A., Cazes, G., Mechoso, C.R., 1994. El Nino-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *Journal of Climate*, 7 (8): 1286-1302. doi:10.1175/1520-0442(1994)007<1286:ENSOIO>2.0.CO;2.
- Ramos, D.E., Weinbaum, S.A., Shackel, K.A., Schwankl, L.J., Mitcham, E.J., Mitchell, F.G., Snyder, R.G., Mayer, G., McGourty, G., 1994. Influence of tree water status and canopy position on fruit size and quality of Bartlett pears. *Acta Horticulturae*, 367: 192-200. doi:10.17660/actahortic.1994.367.24.
- Richard, A., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos FAO 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 202.
- Rodríguez, R.O., Castro, H.R., 2002. The behaviour of "Old Home" X "Farmingdale" selections as interstocks in pear/quince combinations, in Rio Negro valley, Argentina. *Acta Horticulturae*, 596: 373-378. doi:10.17660/actahortic.2002.596.58.

- Severino, V., Arbiza, H., Arias, M., Manzi, M., Gravina, A., 2011. Modelos de cuantificación de frío efectivo invernal adaptados a la producción de manzana en Uruguay. *Agrociencia*, 15 (2): 19-28. doi:10.31285/agro.15.589.
- Tiscornia, G., Cal, A., Giménez, A., 2016. Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42 (1): 66-71.
- Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Beguería, S., Azorin-Molina, C., 2011. A multiscale global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116 (20): 1-23. doi:10.1029/2011JD016039.
- Wertheim, S.J., 2002. Rootstocks for european Pear: a review. *Acta Horticulturae*, 596: 299-309. doi:10.17660/actahortic.2002.596.47.
- Westwood, N.H., 1982. Patrones: su propagación, función y comportamiento. En: Westwood NH. (Eds.). *Fruticultura de zonas templadas*. Madrid: Ediciones Mundi Pesa. 84-102.
- Zoppolo, R., Cabrera, D., Garcia, C., 2009. Algunos conceptos vinculados al agua y el riego en fruticultura. *Revista INIA*, 17: 76-78.

3. DISCUSIÓN GENERAL

En este estudio se evaluaron las respuestas ecofisiológicas de perales Williams, el cultivar más plantado en el Uruguay, sobre portainjertos OH × F 333 y *P. calleryana* ante la presencia o ausencia de la utilización de riego por goteo. El ensayo se llevó a cabo en la temporada 2020-2021, durante la fase II y III de crecimiento de fruto. En la temporada 2021-2022, se evaluó la respuesta a los tratamientos realizados en la temporada anterior manteniendo a todas las plantas en las mismas condiciones hídricas. Para ambas temporadas se elaboraron balances hídricos de suelo, los cuales reflejaron su situación hídrica.

En la temporada 2020-2021, el estado hídrico de las plantas se reflejó en la CE, la cual tuvo su mayor diferencia a los 37 días de iniciados los tratamientos, siendo significativamente menor en los tratamientos sin riego, independientemente del portainjerto utilizado. La disminución de la CE se ha reportado en estudios sobre frutales de hoja caduca en los cuales se evaluaron estrategias deficitarias de riego (Babaei et al., 2021, Marsal et al., 2008, O'Connell y Goodwin, 2007, Marsal et al., 2000, Naor, 2000, Behboudian et al., 1994, Caspari et al., 1994). Esta respuesta en la CE ante efectos por la carencia de riego se puede explicar porque su reducción implica una mejora en el estado hídrico de la planta (Caspari et al., 1994). En la segunda temporada de evaluación no se observaron diferencias significativas dadas por el efecto de irrigación, pero sí por el efecto de los diferentes portainjertos: la combinación *P. calleryana* / Williams obtuvo una mayor CE.

Durante ambas temporadas se evaluó la evolución de la tasa de crecimiento de brotes (TC). En el caso de la temporada 2020-2021 (Anexo 1), las mediciones de largo de brote comenzaron previo al inicio de los tratamientos. Para evaluar la TC, se medía la altura de un total de 15 brotes por árbol y luego se calculaba la TC promedio utilizando la siguiente fórmula: $(TC_1 - TC_0) / \text{días}$. En la medida en que las mediciones avanzaban, la TC evaluada para todos los tratamientos disminuyó como consecuencia de la dinámica natural de la especie. Inicialmente, durante los meses de noviembre y diciembre, la combinación *P. calleryana* / Williams mostró una mayor TC con

respecto a la combinación OH × F 333 / Williams. Finalmente, en el mes de enero, el crecimiento de brotes fue casi nulo, observándose a través de las evaluaciones de TC.

Durante la temporada 2021-2022 (Anexo 2), se observaron resultados similares en cuanto a la disminución del crecimiento de brotes durante el período estival y se constataron diferencias significativas entre las combinaciones de portainjerto/cultivar, siendo *P. calleryana* el portainjerto con mayor TC.

La mayor TC de la combinación *P. calleryana* / Williams se puede explicar porque *P. calleryana* es considerado un portainjerto vigoroso (Da Silveira Pasa et al., 2012, Dalazen et al., 2012, Cabrera y Rodríguez, 2012). Por otro lado, la disminución en el crecimiento durante los meses de verano puede explicarse en parte por las elevadas temperaturas y por la competencia con el crecimiento de los frutos (Agustí, 2010).

Adicionalmente, durante la temporada 2021-2022, se evaluó el avance de la fenología, observando los estados fenológicos de 25 puntos de crecimiento por árbol con una frecuencia semanal. No se observaron diferencias entre los diferentes tratamientos, lo que se explica por el efecto irrigación o el efecto portainjerto (Anexo 3). Esto indica que, en lo que refiere a la fenología, los diferentes niveles de déficit hídrico y portainjertos no la afectarían.

En lo que refiere a la producción, en la temporada 2020-2021 no varió significativamente por el efecto de la irrigación, pero sí por los portainjertos evaluados, siendo OH x F 333 el más productivo. Esto coincide con los estudios que se han llevado a cabo en este portainjerto, los cuales indican como una ventaja su mayor producción y una mayor eficiencia productiva en relación con portainjertos como *P. calleryana* (Cabrera y Rodríguez, 2015, Da Silveira Pasa et al., 2012). El portainjerto OH x F 333 tiene la ventaja, además, de que podría ser considerado un sustituto para los portainjertos de la especie membrilleros, los cuales son incompatibles con los cultivares de pera (Cabrera y Rodríguez, 2015). Esto representa una ventaja para producir plantas, ya que no es necesario el uso de filtros, que incrementan el tiempo de producción y el costo en vivero.

En lo que refiere a los componentes de la producción, el número de frutos fue significativamente superior en las plantas sobre OH x F 333, mientras que el peso de

fruto no fue significativamente diferente respecto a las plantas sobre *P. calleryana*. El hecho de que no se observaran diferencias en el peso de fruto pudo ser causado porque los niveles de oferta hídrica establecidos para los tratamientos regados llegaron a cubrir un 81,7 % de la demanda y para los tratamientos sin riego un 54,8 % de la demanda, lo cual no permitió diferenciar el peso de fruto. Algunos autores obtuvieron como resultados la no diferenciación en peso y/o tamaño de fruto ante diferentes regímenes de riego (Lepaja et al., 2015, Behboudian et al., 1994, Caspari et al., 1994, Ramos et al., 1994). Otra posible hipótesis de porque no se dieron diferencias en el peso de fruto, es que los perales no regados, ante los efectos del déficit hídrico, extrajeran agua disponible en el suelo a profundidades superiores a 40 cm, lo cual le permitió seguir destinando agua para el crecimiento de frutos. Esta hipótesis se base en el vigor de los portainjertos y como se expresa en el crecimiento radicular (Cabrera y Rodríguez, 2015, Carrera et al., 2005, Rodríguez y Castro, 2002, Westwood, 1982). En la zafra 2021-2022, se obtuvo como resultado una mayor producción en las plantas que tenían como portainjerto OH x F 333, lo cual coincide con lo expresado por Cabrera y Rodríguez (2015) y Da Silveira Pasa et al. (2012), quienes señalan que la serie de portainjertos OH x F son más productivos que portainjertos como *P. calleryana*.

En la zafra 2020-2021, los frutos obtenidos de los tratamientos con y sin déficit hídrico prolongado fueron cosechados en la misma fecha, ya que la evaluación de la firmeza de pulpa indicaba que estaban en el momento óptimo de cosecha. Durante la poscosecha se continuó evaluando la firmeza de pulpa, la cual evolucionó de forma decreciente para los frutos obtenidos de los diferentes tratamientos, independientemente de los portainjertos utilizados, pero decreció con mayor velocidad en los frutos obtenidos de los tratamientos donde las plantas fueron regadas (Figura 8). Está de acuerdo con la evaluación realizada sobre la producción de etileno, en la cual se observó que los frutos obtenidos de los tratamientos regados generaron de forma anticipada una mayor producción de etileno (Tabla 3). El etileno es la fitohormona que promueve la maduración de los frutos climatéricos, como la pera (Agustí, 2010, Mitcham y Mitchell, 2002).

El CSST en la temporada 2020-2021 fue superior a cosecha en los frutos obtenidos de los tratamientos sin riego, lo cual se asoció con un menor contenido de

agua en el fruto y una menor CE (Figura 9). En la temporada 2021-2022, no hubo diferencias en el CSST, lo cual se puede explicar porque las plantas permanecieron en condiciones de ausencia de riego. En ambas temporadas, el CSST de los frutos obtenidos de los árboles sin riego fue considerado superior a los niveles mínimos necesarios para iniciar la cosecha de frutas, independientemente del diámetro del fruto (Mitchan y Gordon Mitchell, 2002). En diferentes estudios sobre frutales se observó que el CSST fue significativamente mayor en los frutos obtenidos de tratamientos donde se estableció cierto déficit hídrico, debido a que, en general, los frutos tienen un menor contenido de agua, lo que explica una mayor concentración de los sólidos solubles (Marsal et al., 2000, Ramos et al., 1994, Ebel et al., 1993).

4. CONCLUSIONES

En este estudio, se llevaron a cabo evaluaciones exhaustivas de las respuestas ecofisiológicas de las combinaciones OH × F 333/Williams y *P. calleryana* / Williams frente a distintos niveles de déficit hídrico a lo largo de la temporada 2020-2021. Además, se analizó el comportamiento de estas combinaciones bajo un mismo nivel de déficit hídrico durante la temporada 2021-2022. Durante el desarrollo de la investigación, se evaluó la CE como principal indicador para determinar el estado hídrico de las plantas. Se observó una disminución significativa de este indicador en las plantas que no recibieron riego, lo que evidenció que dicha reducción actuó como un mecanismo de regulación del estado hídrico de estas. Esta reducción en la CE fue independiente al tipo de portainjerto evaluado.

En lo que refiere al crecimiento vegetativo, se observaron diferencias en el vigor de las combinaciones de portainjerto/cultivar y se constató que la combinación *P. calleryana* / Williams fue la más vigorosa, debido a la evolución de la TC.

En lo que respecta a la productividad de las plantas, se constató que los cambios en su estado hídrico no generaron diferencias en el rendimiento. Durante ambas temporadas, se destacó la combinación OH × F 333 / Williams como la más productiva, y esto se explicó por la obtención de un mayor número de frutos. Sin embargo, es importante destacar que los frutos expuestos a condiciones de déficit hídrico presentaron un retraso en el proceso de maduración. Esto se pudo observar mediante el análisis de la evolución de la producción de etileno y el momento en el que se alcanzó el pico de su biosíntesis, lo cual a su vez provocó un retraso en la pérdida de firmeza de la pulpa.

Adicionalmente, se obtuvieron diferencias en parámetros como la firmeza de pulpa y el CSST, los cuales son componentes que explican la calidad de fruto. La evolución de la firmeza de pulpa se retrasó en los frutos obtenidos de los tratamientos sin riego; mientras que en lo que refiere al CSST de los frutos obtenidos, se pudo apreciar que aquellos provenientes de los tratamientos sin riego presentaron valores más elevados de CSST. Esto se explica por el menor porcentaje de humedad que se registró en los frutos sometidos a dichas condiciones de déficit hídrico.

A través de este estudio manifiesta la importancia de comprender las respuestas ecofisiológicas del peral frente a diferentes niveles de disponibilidad hídrica, tanto para comprender los mecanismos de adaptabilidad del cultivo a períodos de déficit hídrico como para afrontar posibles escenarios futuros en los que oferta hídrica resulte insuficiente como para satisfacer la demanda del cultivo.

Adicionalmente, este trabajo puede considerarse como un insumo para diseñar futuros ensayos para evaluar la respuesta de perales y otros frutales a diversas condiciones de oferta hídrica, teniendo como objetivo mejorar la eficiencia de uso de agua, sin comprometer el rendimiento ni la calidad de fruto. En base a los resultados obtenidos en este ensayo, sería importante verificar el consumo de agua disponible de los perales a profundidades superiores a 40 cm, por ejemplo, mediante la instalación de sensores FDR a 60 cm de profundidad, en especial para los tratamientos que se presentaran diferentes niveles de déficit hídrico.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Agustí M. 2010. Desarrollo del fruto. En: Agustí M. (Eds.). Fruticultura. Madrid, Ediciones Mundi Prensa (2). 127-147.
- Agustí M. 2008. Crecimiento y maduración de fruto. En: Azcón-Bieto, Talón. (Eds.). Fundamentos de fisiología vegetal Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España. (2). 25-41.
- Babaei L, Sharifani MM, Darvishzadeh R, Abbaspour N, Henareh M. 2021. Impact of drought stress on photosynthetic response of some pear species. International journal of horticultural and science technology, 8 (4): 353-369. doi:10.22059/ijhst.2020.309629.394.
- Behboudian MH, Lawes GS, Griffiths KM. 1994. The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). Scientia Horticulturae, 60: 89-9. doi:10.1016/0304-4238(94)90064-7.
- Cabrera D, Rodríguez P. 2015. Portainjertos para peral, evaluados para las condiciones del Uruguay. Revista de fruticultura, 45: 48-55.
- Cabrera D, Rodríguez P. 2012. Resultados experimentales portainjertos para peral. Serie de actividades de difusión, 687: 119-133.
- Carrera M, Espiau MT, Gómez-Aparisi J. 2005. Pear rootstock trial: Behavior of “Conference” and “Doyenné du Comice” on two quince and five OHxF selections. Acta Horticulturae, 671: 481-484. doi:10.17660/actahortic.2005.671.68.
- Caspari HW, Behboudian MH, Chalmers DJ, Renquist AR. 1994. Pattern of seasonal water use of asian pears determined by lysimeters and the heat-pulse technique. Journal of the American Society for Horticultural Science, 118 (3): 562-569. doi:10.21273/jashs.118.5.562.
- Castaño JP, Giménez A, Ceroni M, Furest J, Aunchayna R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Serie Técnica n.º 193.
- Chalmers DJ, Burge G, Jerie PH, Mitchell PD. 1986. The mechanism of regulation of ‘Bartlett’ pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and

- regulated deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111 (6): 904-907. doi:10.21273/jashs.111.6.904.
- Chalmers DJ, Mitchell PD, van Heek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106 (3): 307-312.
- Da Silveira Pasa M, Fachinello JC, Schmitz JD, de Souza ALK, de Franceschi É. 2012. Desenvolvimento, produtividade e qualidade de peras sobre porta-enxertos de marmeleiro e *Pyrus calleryana*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(3): 873-880. doi:10.1590/S0100-29452012000300029.
- Dalazen B, De Rossi A, Marcon JL. 2012. Porta enxertos. En: Rufato L, Kretzschmar AA, Bogo A. (Eds.) *A cultura da pereira*. Florianópolis: DIOESC (Série Fruticultura; 1). 172-187.
- Díaz P. 2023. La Niña: el fenómeno detrás del déficit hídrico de Uruguay y la región [En línea]. 20 de mayo del 2023. Disponible en: www.elpais.com.uy/informacion/sociedad/la-nina-el-fenomeno-detras-del-deficit-hidrico-de-uruguay-y-la-region
- Ebel RC, Proebsting EL, Patterson ME. 1993. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality, and storage life. *HortScience* 28 (2): 141-143. doi:10.21273/hortsci.28.2.141.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Statistics). 2022. Datos sobre alimentación y agricultura. [En línea]. 19 de junio del 2022. Disponible en: www.fao.org/faostat/es/#home
- INIA-GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria-Unidad de Agroclima y Sistemas de Información). 2023. Banco datos agroclimático. [En línea]. 20 de mayo del 2023. Disponible en: <http://www.inia.uy/gras>
- Jones N. 2022. Rare 'triple' La Niña climate event looks likely – what does the future hold? [En línea]. 15 de marzo del 2023. Disponible en: www.nature.com/articles/d41586-022-01768-y
- Kolniak-Ostek J. 2016. Content of bioactive compounds and antioxidant capacity in skin tissues of pear. *Journal of Functional Foods*, 23: 40-51. doi:10.21273/HORTSCI.30.5.988.

- Levitt J. 1980. Water stress, dehydration, and drought injury. En: Levitt J. (Eds.). Responses of plant to environmental stress: water, radiation, salt and other stresses. New York: Academic Press (Physiological ecological series; n.º 2). 25-53.
- Lepaja L, Kullaj E, Lepaja K, Zajmi A. 2015. Effects of regulated deficit irrigation, mulching and their combination on fruit diameter growth of young ‘William’ pears. En: 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture (50, 2015, Opatija). Book of Abstracts, 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture. Zagreb. University of Zagreb. Faculty of Agriculture. 580-584.
- Li X, Wang T, Zhou B, Gao W, Cao J, Huang L. 2013. Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory potential of peels and flesh from 10 different pear varieties (*Pyrus* spp.). *Food Chemistry*, 152: 531-538. doi:10.1016/j.foodchem.2013.12.010.
- Marsal J, Mata M, Arbones A, Del Campo J, Girona J, Lopez G. 2008. Factors involved in alleviating water stress by partial crop removal in pear trees. *Tree Physiology*, 28: 1375-1382. doi:10.1093/treephys/28.9.1375.
- Marsal J, Mata M, Arbonés A, Rufat J, Girona J. 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: An evaluation based on vegetative and productive response. *European Journal of Agronomy*, 17: 111-122. doi:10.1016/S1161-0301(02)00002-3.
- Marsal J, Rapoport HF, Manrique T, Girona J. 2000. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. *Scientia Horticulturae*, 85: 43-259. doi:10.1016/S0304-4238(99)00151-X.
- MGAP-DIGEGRA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General de la Granja). 2021. Reporte Anual 2021 Registro nacional frutihortícola [Datos sin publicar.]
- MGAP-OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección General de la Granja). 2022. Frutales de Hoja Caduca: situación y perspectivas. [En línea]. 19 de junio del 2022. Disponible en: www.gub.uy/ministerio-ganaderia-

agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/analisis-sectorial-cadenas-productivas/frutales-hoja

- Mitcham EJ, Gordon Mitchell L. 2002. Postharvest handling system: pome fruits. En: Kader A. (Eds.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Richmond, University of California (3) 333-345.
- Naor A. 2000. Irrigation and crop load interactions in relation to pear yield and fruit-size distribution. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(5): 555-561. doi: 10.1080/14620316.2000.11511285.
- O'Connell MG, Goodwin I. 2007. Responses of "Pink Lady" apple to deficit irrigation and partial rootzone drying: Physiology, growth, yield, and fruit quality. *Australian journal of agricultural research*, 58: 1068-1076. doi:10.1071/AR07033.
- Penalba OC, Rivera JA. 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in southern South America - Emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geoscience*, 42: 1-14. doi:10.5194/adgeo-42-1-2016.
- Pisciottano G, Diaz A, Cazes G, Mechoso CR. 1994. El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *Journal of Climate*, 7 (8): 1286-1302. doi:10.1175/1520-0442(1994)007<1286:ENSOIO>2.0.CO;2.
- Ramos DE, Weinbaum SA, Shackel KA, Schwankl LJ, Mitcham EJ, Mitchell FG, Snyder RG, Mayer G, McGourty G. 1994. Influence of tree water status and canopy position on fruit size and quality of Bartlett pears. *Acta Horticulturae*, 367: 192-200. doi:10.17660/actahortic.1994.367.24.
- Rasmusson EM, Carpenter TH. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly weather review*, 110: 354-384.
- Rodríguez RO, Castro HR. 2002. The behaviour of "Old Home" X "Farmingdale" selections as interstocks in pear/quince combinations, in Rio Negro valley, Argentina. *Acta Horticulturae*, 596: 373-378. doi:10.17660/actahortic.2002.596.58.
- Sánchez-Díaz M, Aguirreolea J. 2008. El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. En: Azcón-Bieto, Talón. (Eds.). *Fundamentos*

de fisiología vegetal Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España. (2). 519-537.

Toreti A, Bavera D, Acosta Navarro J, Arias Muñoz C, Barbosa P, de Jager A, Di Ciollo C, Fioravanti G, Grimaldi S, Hrast Essenfelder A, Maetens W, Magni D, Masante D, Mazzeschi M, McCormick N, Salamon P, Spinoni J. 2023. JRC technical report Drought in South America April 2023. 1-20. doi:10.2760/873366

Vicente-Serrano SM, López-Moreno JI, Gimeno L, Nieto R, Morán-Tejeda E, Lorenzo-Lacruz J, Beguería S, Azorin-Molina C. 2011. A multiscalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116 (20): 1-23. doi:10.1029/2011JD016039.

Wertheim SJ. 2002. Rootstocks for european Pear: a review. *Acta Horticulturae*, 596: 299-309. doi:10.17660/actahortic.2002.596.47.

Westwood NH. 1982. Patrones: su propagación, función y comportamiento. En: Westwood NH. (Eds.). *Fruticultura de zonas templadas*. Madrid, Ediciones Mundi Pesa. 84-102.

6. ANEXOS

6.1. ANEXO 1. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE BROTES DURANTE LA TEMPORADA 2020-2021

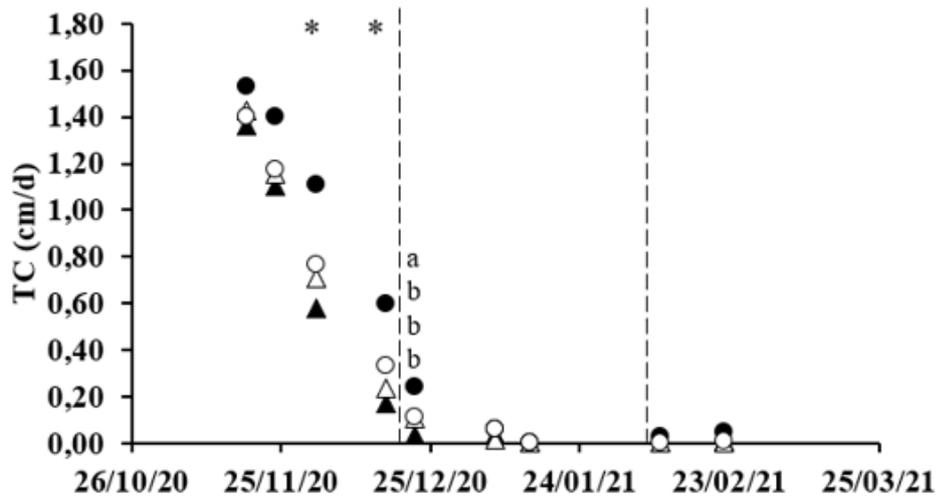


Figura 2. Evolución de la tasa de crecimiento de brotes para la temporada 2020-2021, donde los triángulos llenos se corresponden con el tratamiento R-OH \times F333; los triángulos vacíos, al SR-OH \times F333; los círculos llenos, al R-PC; los círculos vacíos, al SR-PC. Las líneas partidas indican el período en que se llevaron a cabo los tratamientos. Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos y los asteriscos, diferencias significativas dadas por el portainjerto ($p < 0,05$). Cada punto representa la media.

6.2. ANEXO 2. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE BROTES DURANTE LA TEMPORADA 2021-2022

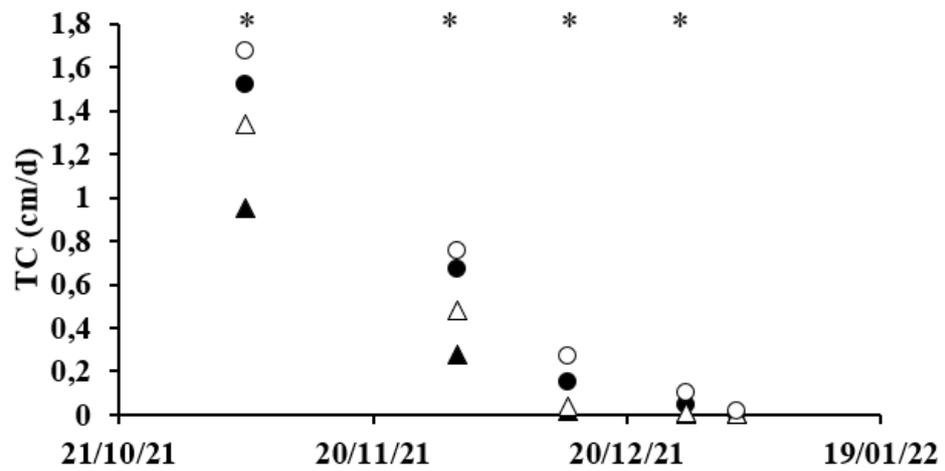


Figura 3. Evolución de la tasa de crecimiento de brotes para la temporada 2021-2022, ante los tratamientos aplicados en la zafra anterior, donde los triángulos llenos se corresponden con el tratamiento R-OH \times F333; los triángulos vacíos, al SR-OH \times F333; los círculos llenos, al R-PC; los círculos vacíos, al SR-PC. Los asteriscos, diferencias significativas dadas por el portainjerto ($p < 0,05$). Cada punto representa la media.

6.3. ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA FENOLOGÍA EN PERALES WILLIAMS ANTE DIFERENTES TRATAMIENTOS DURANTE EL AÑO 2021

Fecha	Tratamiento	A (%)	B (%)	C (%)	D1 (%)	D3 (%)	E1 (%)	F1 (%)	F2 (%)	G (%)	H (%)	I (%)	J (%)	H (%)
25/9/2022	R - OHxF 333	25,98	68,10	4,22	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SR - OHxF 333	24,14	55,80	16,80	3,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	R - PC	7,19	71,09	19,84	1,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SR - PC	21,87	50,57	22,20	5,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/9/2021	R - OHxF 333	-	12,31	53,03	27,41	7,26	-	-	-	-	-	-	-	-
	SR - OHxF 333	-	6,31	44,21	34,45	14,31	0,71	-	-	-	-	-	-	-
	R - PC	-	11,06	41,43	27,79	19,72	-	-	-	-	-	-	-	-
	SR - PC	-	7,58	38,52	33,25	20,65	-	-	-	-	-	-	-	-
2/10/202	R - OHxF 333	-	-	21,45	29,86	32,05	15,03	1,62	-	-	-	-	-	-
	SR - OHxF 333	-	-	5,75	14,84	44,62	28,17	6,61	-	-	-	-	-	-
	R - PC	-	-	3,21	16,55	38,21	23,10	18,93	-	-	-	-	-	-
	SR - PC	-	-	4,95	16,61	29,87	29,68	16,48	2,42	-	-	-	-	-
4/10/2021	R - OHxF 333	-	-	-	-	12,82	11,08	24,72	19,65	10,92	7,30	13,50	-	-
	SR - OHxF 333	-	-	-	-	6,25	7,92	24,15	13,74	9,13	14,44	23,97	0,42	-
	R - PC	-	-	-	-	13,67	5,85	19,43	21,48	8,56	7,43	20,24	3,33	-
	SR - PC	-	-	-	-	5,78	5,35	17,77	21,53	5,78	11,57	23,98	8,24	-
20/10/2021	R - OHxF 333	-	-	-	-	-	-	-	-	13,57	28,81	38,21	19,40	-
	SR - OHxF 333	-	-	-	-	-	-	-	-	7,21	24,40	34,59	33,81	-
	R - PC	-	-	-	-	-	-	-	-	4,72	18,19	33,19	43,89	-
	SR - PC	-	-	-	-	-	-	-	-	3,31	13,20	28,84	54,65	-
25/10/2021	R - OHxF 333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,33	75,83	0,83
	SR - OHxF 333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,76	73,91	3,33
	R - PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,89	90,11	-
	SR - PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,06	78,66	3,28

Figura 4. Evolución de la fenología en perales Williams ante diferentes tratamientos durante el año 2021, donde las tonalidades verdes indican mayores porcentajes de determinados estados fenológicos por fecha de evaluación y tratamiento, y las tonalidades amarillas indican menores porcentajes de estados fenológico según fecha de evaluación y tratamiento.