



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
**CIENCIAS  
AGRARIAS**

**Evaluación de estrategias de poda mecánica y control del vigor, sobre el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo en setos de duraznero (*Prunus persica* L.) y olivo (*Olea europaea* L.)**

*Tesis para optar por el título de  
Doctor en Agronomía*

**Ing. Agr. Facundo Javier Calderón**

Director:

*Dr. Eduardo Rafael Trentacoste*

Codirector:

*PhD. Antonio Marcelo Weibel*

Comité tutorial:

*Dra. María Cecilia Rousseaux  
MSc. Ing. Agr. Carlos Marcelo Puertas*

Jurado evaluador:

*Dra. Hilda Pedranzani  
Dra. Miriam Izaguirre  
Dr. Pedro Insausti*

*Mendoza, 2023*

## RESUMEN

La fruticultura argentina atraviesa grandes dificultades debido a la falta de mano de obra, tanto en la disponibilidad como en la capacitación de la misma. La poda y la cosecha son dos de las tareas más demandantes en un monte frutícola y una de las alternativas es la mecanización, ya sea total o parcial. Los sistemas productivos actuales tienden al uso de alta densidad de plantación, plantas de menores dimensiones y formaciones del canopeo en seto, tecnologías que permiten la mecanización integral de la poda y la cosecha. En este trabajo se evaluaron diferentes tratamientos de poda mecánica en dos especies frutales de relevancia para la región de Cuyo: duraznero y olivo. Por un lado, se llevó a cabo un experimento en duraznero de industria en el que se emplearon injertos intermediarios de distintos largos, con el objetivo de lograr reducciones del crecimiento vegetativo y evitar podas intensas que afecten la productividad futura (Cap. II). Además, se complementó este experimento con otro donde se realizaron poda manual y mecánica en distintos momentos del ciclo del duraznero: receso invernal, luego del raleo y poscosecha (Cap. III). En olivo para aceite se ensayaron dos tipos de poda mecánica, setos con poda bilateral (en ambas caras) ingresando cada dos años y setos podados unilateral (en una sola cara) en años sucesivos. Los tratamientos se combinaron con dos estrategias de riego, con déficit hídrico de primavera y ausencia de déficit (Cap. IV). En todos los experimentos se realizaron mediciones para caracterizar el crecimiento vegetativo tanto de brotes como a nivel de canopia entera, desarrollo de los componentes reproductivos, el rendimiento, calidad de frutos y obtención de estimadores de eficiencia vegetativa y productiva. En el Capítulo II entre los principales resultados se observó que el empleo de injertos intermediarios en duraznero redujo la longitud y el número total de brotes por planta, el volumen de canopia e incrementó la densidad de flores. Plantas injertadas con intermediario más largo mostraron menor longitud y número total de brotes, menor volumen de copa y mayor densidad de floración. En el Capítulo III se destaca entre los principales hallazgos que durazneros podados mecánicamente evidenciaron mayor número de brotes y área foliar en un mismo volumen de copa, respecto a la poda manual. El número de frutos en plantas podadas mecánicamente fue mayor y tuvieron menor tamaño, sin diferencias en la calidad industrial. En olivo, la poda unilateral bajo riego deficitario primaveral mantuvo el seto más pequeño, con menor cantidad y crecimiento de chupones y mayor número de yemas reproductivas. Aunque el rendimiento no fue diferente respecto a la poda bilateral bajo déficit. Plantas regadas bajo déficit hídrico primaveral tuvieron dimensiones más cercanas a las óptimas que favorecen la iluminación en todas las posiciones del seto. Tratamientos sin déficit tuvieron mayor largo de brotes, dimensiones mayores a las recomendadas y mayor rendimiento respecto a los otros tratamientos. El contenido de aceite fue similar entre tratamientos. En ambas especies se observó que con poda mecánica y otras estrategias de manejo (intermediarios, momento de poda y riego deficitario), es factible controlar el crecimiento vegetativo facilitando dimensionar los setos con la menor reducción del rendimiento posible y permitiendo la cosecha mecanizada adecuada con la consecuente disminución de costos.

**Palabras clave:** fruticultura, olivo, duraznero, poda mecánica, control del crecimiento vegetativo, setos, déficit hídrico, injertos intermediarios.

## ABSTRACT

Fruit production in Argentina is passing through big difficulties due to a hand labor shortage, both in terms of availability and training. Pruning and harvesting are two of the most demanding tasks in a fruit orchard and one alternative is the mechanization, either total or partial. Current production systems tend to use high-density orchards, smaller plants and hedgerow canopies, all these technologies allow a total mechanization of pruning and harvesting. In this work, different mechanical pruning treatments were evaluated in two fruit tree species of relevance for the Cuyo region: peach and olive crops. On the one hand, a trial was carried out on canning peach trees in which graft interstocks of different lengths were used with the aim of achieving a vegetative growth reduction and avoiding intensive pruning that affects future productivity (Chapter II). In addition, this trial was complemented with another one where manual and mechanical pruning were carried out at different times of peach tree productive cycle: winter, before thinning and postharvest (Chapter III). In olive trees intended for oil, two types of mechanical pruning were tested, hedgerows with bilateral pruning (both sides) entering every two years and hedgerows with unilateral pruning (one side) in successive years. Pruning treatments were combined with two irrigation strategies: spring deficit irrigation and without deficit (Chapter IV). In all the experiments, measurements were made to characterize the vegetative growth both of shoots and entire canopy, reproductive components development, yield and fruit quality. Vegetative and productive efficiency estimators were obtained. In Chapter II among the outstanding results, it was observed that the use of interstocks in peach reduced the canopy volume, length and total number of shoots per plant and increased flower density. Plants grafted with the longest interstock show smaller canopy volume, less shoots and higher flower density. In Chapter III, the main findings indicate that mechanically pruned peaches showed higher number of shoots and leaf area in the same canopy volume, compared to manual pruning. Mechanically pruned trees had higher fruit number with smaller fruits. No differences were found in fruit industrial quality. In olive, one-sided pruning under spring deficit irrigation reduced the hedgerow size, with less watersprout growth but more reproductive bud number, although the yield was not different compared to bilateral (two-sided) pruning under deficit irrigation. Plants under spring deficit irrigation showed closer dimensions to the optimal ones that improves illumination of all parts of the canopy. Plants without deficit had longer shoot length, larger size and higher yield compared to other treatments. The four treatments had similar oil content. In both species, it was shown that vegetative growth can be controlled applying mechanical pruning combined with other management strategies (interstocks, pruning moment and deficit irrigation). This allows to size hedgerows with as little yield reduction as possible and adequate mechanical harvest with the consequent cost reduction.

**Keywords:** fruticulture, olive, peach, mechanical pruning, vegetative growth control, hedgerows, deficit irrigation, interstock graft.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE.....	4
LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	10
ABREVIATURAS.....	14
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y DE DIVULGACIÓN .....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.....	17
CAPÍTULO II: Efecto de la altura de injerto de siete intermediarios diferentes sobre el crecimiento vegetativo y la floración en duraznero cv. Pavie Catherine.....	22
1.INTRODUCCIÓN .....	22
2.MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1.Sitio, material vegetal y diseño experimental.....	24
2.2.Mediciones .....	28
2.2.1.Prendimiento de injerto y sobrevivencia .....	28
2.2.2.Crecimiento vegetativo .....	28
2.2.3.Características y densidad de floración.....	29
2.2.4.Eficiencia vegetativa y reproductiva .....	29
2.3.Análisis estadístico .....	30
3.RESULTADOS .....	30
3.1.Prendimiento de injerto y sobrevivencia .....	30
3.2.Crecimiento vegetativo .....	33
3.3.Características y densidad de floración.....	37
3.4.Eficiencia vegetativa y reproductiva .....	41
4.DISCUSIÓN.....	44
4.1.Efecto del intermediario sobre variables vegetativas y reproductivas.....	44
4.2.Efecto del largo del intermediario sobre variables vegetativas y reproductivas.....	45
4.3.Discusión de hipótesis.....	46
5.CONCLUSIONES .....	48
CAPÍTULO III: Influencia del momento de poda mecánica en duraznero cv. Pavie Catherine sobre el crecimiento vegetativo, el desarrollo reproductivo y la calidad industrial de los frutos .....	50
1.INTRODUCCIÓN .....	50
2.MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
2.1.Sitio experimental .....	56
2.2.Tratamientos de poda y diseño experimental .....	57
2.3.Evaluación del crecimiento vegetativo .....	58
2.3.1.Dimensiones de seto .....	58
2.3.2.Restos de poda.....	59
2.3.3.Área foliar y densidad foliar .....	59

2.3.4.Longitud total de brindillas .....	59
2.3.5.Área de sección transversal de tronco .....	60
2.4.Desarrollo reproductivo .....	60
2.5.Producción .....	61
2.6.Calidad industrial.....	61
2.6.1.Humedad de fruto.....	62
2.6.2.Color de cobertura .....	62
2.6.3.Diámetro de fruto .....	62
2.6.4.Firmeza de pulpa.....	62
2.6.5.Contenido de sólidos solubles.....	62
2.7.Eficiencia productiva y relación fuente/destino .....	63
2.8.Diseño experimental y análisis estadístico .....	63
3.RESULTADOS .....	64
3.1.Restos de poda .....	64
3.2.Crecimiento vegetativo .....	66
3.3.Relación A/CL .....	69
3.4.Desarrollo reproductivo .....	69
3.5.Rendimiento y sus componentes.....	73
3.6.Características de calidad industrial de los frutos.....	76
3.7.Relación entre fuente y destino .....	80
4.DISCUSIÓN.....	83
4.1.Selectividad de la poda. Manual vs mecánica.....	83
4.2.Momento de intervención con poda mecánica .....	86
4.3.Discusión de hipótesis.....	91
5.CONCLUSIONES .....	93
CAPÍTULO IV: Efecto de la intensidad de poda mecánica y del riego deficitario primaveral en setos de olivo cv. Arbosana, sobre características vegetativas, reproductivas y componentes del rendimiento.....	
1.INTRODUCCIÓN .....	96
2.MATERIALES Y MÉTODOS.....	101
2.1.Sitio experimental .....	101
2.2.Diseño experimental .....	102
2.3.Tratamientos aplicados .....	103
2.3.1.Riego.....	103
2.3.2.Poda .....	104
2.4.VARIABLES EVALUADAS.....	105
2.4.1.Potencial hídrico de tallo y conductancia estomática .....	105
2.4.2.Humedad de suelo .....	105
2.4.3.Dimensiones de seto .....	106
2.4.4.Restos de poda .....	107
2.4.5.Caracterización de los cortes de poda .....	107
2.4.6.Crecimiento de brotes.....	107
2.4.7.Componentes reproductivos.....	108

2.4.8.Estructura y calidad floral .....	109
2.4.9.Producción, componentes del rendimiento y características de los frutos.....	109
2.4.9.1.Peso de fruto y número de frutos .....	109
2.4.9.2.Índice de madurez.....	110
2.4.9.3.Relación pulpa/carozo.....	110
2.4.9.4.Contenido de aceite .....	111
2.5.Análisis estadístico .....	111
3.RESULTADOS .....	112
3.1.Condiciones ambientales .....	112
3.2.Agua aplicada .....	116
3.3.Estado hídrico del árbol y del suelo .....	116
3.4.Biomasa de poda y formación de brotes en cortes de poda .....	123
3.5.Crecimiento de tronco y dimensiones de los setos .....	127
3.6.Crecimiento de brotes.....	133
3.7.Desarrollo reproductivo .....	136
3.8.Estructura de las inflorescencias.....	142
3.9.Producción y componentes del rendimiento.....	144
3.10.Características de los frutos .....	146
4.DISCUSIÓN.....	146
4.1.Estado hídrico del cultivo .....	147
4.2.Respuestas en el crecimiento vegetativo a diferentes estrategias de poda mecánica y regímenes de riego .....	148
4.3.Respuestas en componentes reproductivos y el rendimiento .....	150
4.4.Discusión de hipótesis.....	154
5.CONCLUSIONES .....	155
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN GENERAL .....	157
AGRADECIMIENTOS.....	163
BIBLIOGRAFÍA.....	164
ANEXO .....	177

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 2.1.** Nombre, abreviatura y origen de los distintos materiales genéticos empleados como intermediarios/portainjertos, en duraznero cv. Pavie Catherine.

**Tabla 2.2.** Prendimiento de injerto (%) en diciembre de 2017 y sobrevivencia de injerto (%) en febrero de 2019 de duraznero cv. Pavie Catherine en cada material usado como intermediario o portainjerto (función).

**Tabla 2.3.** Variables vegetativas del cultivar Pavie Catherine (PC) acumuladas del periodo de tres años (2017 a 2019), injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto y a dos alturas (5 cm y 35 cm) o a 5 cm (injerto bajo) y 35 (injerto alto) en altura medidos desde el nivel del suelo, para el caso del Control (Monegro).

**Tabla 2.4.** Características de la floración y fructificación, variables medidas en brotes florales (i.e. brotes con al menos una flor), en duraznero cv. Pavie Catherine injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto con dos largos (5 cm – corto y 35 cm – largo, medidos desde la unión intermediario/portainjerto) y en el Control el portainjerto Monegro sin intermediario (a 5 cm – corto y 35 cm – largo, medidos desde los 5 cm del nivel del suelo). El daño por frío se midió luego de una helada ocurrida el 3 de septiembre de 2019.

**Tabla 2.5.** Eficiencias vegetativa y productiva, en duraznero cv Pavie Catherine injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto con dos largos de intermediario (5 cm - corto - y 35 cm - largo-, medidos desde la unión intermediario/portainjerto) y en el Control solamente el portainjerto Monegro sin intermediario (a 5 cm -corto- y 35 cm -largo- medidos desde los 5 cm del nivel del suelo).

**Tabla 3.1.** Variables vegetativas respuesta en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los años 2018 y 2019. En el año 2017 todas las plantas fueron podadas manualmente en invierno (julio), para unificar la condición inicial de toda la parcela. Se coloca la línea del año 2017 en la interacción sólo a modo comparativo, ya que no se tomó en cuenta para el ANOVA del efecto Poda ni en la interacción. Solamente se hizo ANOVA con el año 2017 para el factor simple Año (A).

**Tabla 3.2.** Componentes del rendimiento medidos en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los 2018 y 2019.

**Tabla 3.3.** Producción, cantidad de frutos por planta, peso medio del fruto, porcentaje de fruta cosechada en la pasada principal y eficiencia productiva (EP) en plantas

de duraznero cv. Pavie Catherine podadas, manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) en 2018 y 2019. En 2017 no se aplicaron los tratamientos y todas las plantas recibieron una poda manual, para unificar la condición inicial de toda la parcela. Se coloca la línea del año 2017 en la interacción sólo a modo comparativo, ya que no se tomó en cuenta para el ANOVA del efecto Poda ni en la interacción. Solamente se hizo ANOVA con el año 2017 para el factor simple Año (A).

**Tabla 3.4.** Parámetros de calidad industrial medidos en frutos de plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los años 2018 y 2019.

**Tabla 3.5.** Relación entre el área foliar (F, fuentes) y el número de frutos (D, destinos) medida en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas, en 2018 y 2019, manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC).

**Cuadro 4.1.** Duración del ciclo completo de riego y de los periodos 1 (desde inicio de brotación a endurecimiento de carozo) y 2 (desde endurecimiento de carozo a 30 días luego de cosecha). Lámina de riego aplicada en cada periodo en setos de olivos cv Arbosana podados mecánicamente y bajo dos estrategias de riego: Control (100 % de la  $ET_c$  durante todo el ciclo de riego) y RDC (45 % de la  $ET_c$  durante el periodo 1 e igual al Control en periodo 2), en San Juan, Argentina. CTR: Control, RDC: Riego Deficitario Controlado,  $ET_0$ : Evapotranspiración de referencia,  $ET_c$ : evapotranspiración del cultivo, Pef: precipitación efectiva.

**Tabla 4.2.** Respuesta vegetativa en los cortes (CT) originados por la poda mecánica invernal al cabo de 2 años de su realización, en setos de olivo cv. Arbosana en San Juan. Se evaluaron dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ).

**Tabla 4.3.** Dimensiones de seto de olivos cv Arbosana medidas en dos momentos del ciclo (pospoda y cosecha). Los setos fueron sometidos a dos estrategias de poda mecánica invernal y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ) durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, en San Juan, Argentina.

**Tabla 4.4.** Componentes reproductivos en plantas de olivo cv Arbosana podados mecánicamente, en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC

(Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en 2017/2018 y 2018/2019 en San Juan, Argentina.

**Tabla 4.5.** Estructura de las inflorescencias en plantas de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina.

**Tabla 4.6.** Producción de aceitunas y de aceite, número de frutos, contenido de aceite y otras características a nivel de planta entera y por caras, en olivos cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina.

**Imagen 1.** Prendimiento de injerto, del cv Pavie Catherine (Foto: F.J. Calderón) – pág. 25

**Imagen 2.** Parcela de intermediarios y altura de injerto, en duraznero cv Pavie Catherine (Foto: F.J. Calderón) – pág. 27

**Imagen 3.** Seto en ípsilon duraznero de industria, cv Pavie Catherine (Foto: F.J. Calderón) – pág. 57

**Imagen 4 (izq.) y 5 (der.).** Setos de olivo, cv Arbosana (Foto: F.J. Calderón) – pág. 102

**Cuadro 1.** (*en Anexo*) Cronología de la aplicación de tratamientos de poda manual y poda mecánica (en tres momentos) y variables medidas, en duraznero de industria cv Pavie Catherine (Capítulo III).

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 2.1.** Largo total de brotes por planta en los tres años en que se desarrolló en experimento, (A) por intermediarios y (B) por largo de intermediario: 5 cm (corto) y 35 cm (largo). Las mediciones se realizaron durante el reposo vegetativo, en duraznero cv Pavie Catherine. Asteriscos, dentro del mismo año, indican diferencia significativa entre materiales genéticos o largo del intermediario (altura de injerto en el caso del Monegro, sin intermediario), con un  $P \leq 0,05$  para test LSD de Fisher.

**Figura 2.2.** Temperatura diaria, en los días previos y posteriores al 3 de septiembre de 2019, cuando ocurrió una helada severa. El evento duró 7 horas y alcanzó una temperatura mínima de  $-5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (flecha Negra), en Junín (Mendoza, Argentina).

**Figura 2.3.** Relación entre (A) el volumen de canopia y (B) número de frutos por planta respecto al área de sección transversal de tronco (ASTT,  $\text{cm}^2$ ), de duraznero cv Pavie Catherine injertado en siete intermediarios de distinto origen genético a dos largos de intermediario: 5 cm (corto) y 35 cm (largo).

**Figura 3.1.** Restos de poda, promedio en peso seco, extraídos de plantas de duraznero cv Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y pos cosecha (MW, MR, MC, respectivamente) en 2018 y 2019. En la poda realizada en pre raleo (MR), los frutos se separaron de los restos y no se pesaron. Letras iguales indican medias que no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ .

**Figura 3.2.** Relación entre la densidad foliar y el matiz de frutos de durazneros cv. Pavie Catherine podados manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y poscosecha (MW, MR, MC, respectivamente). Cada punto es el valor promedio del tratamiento ( $n=5$ ) en los años 2018 y 2019.

**Figura 3.3.** Relación entre peso fresco de frutos (A) y diámetro de fruto (B) versus la relación fuente (F; medido como área foliar) /destino (D; medido como número de frutos) de durazneros cv. Pavie Catherine podados manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y pos cosecha (MW, MR, MC, respectivamente). Cada punto es el valor promedio del tratamiento ( $n=5$ ) en los años 2018 y 2019.

**Figura 4.1A.** Temperatura ambiente mínima y máxima y precipitaciones (barras) registradas durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020 en el sitio experimental (Cañada Honda, San Juan, Argentina). Símbolos en la parte superior indican las etapas fenológicas de inicio de brotación (círculo relleno), fin de elongación de brotes (rombo relleno) y cosecha (estrella rellena) medidas en los setos de olivo cv. Arbosana.

**Figura 4.1B.** Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020 en el sitio donde se encuentra la parcela experimental (Cañada Honda, San Juan).

**Figura 4.1C.** Déficit de presión de vapor (DPV) durante el periodo en que se desarrolló el experimento, en Cañada Honda, San Juan.

**Figura 4.2.** Dinámica del potencial hídrico de tallo ( $\Psi$ ) en plantas de olivo cv Arbosana sometidas a dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en las temporadas 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. Los signos “+” se presentan cuando hay diferencias significativas entre tratamientos en cada fecha, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

**Figura 4.3.** Conductancia estomática en plantas de olivo cv Arbosana, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en tres temporadas: 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. Los signos “+” se presentan cuando hay diferencias entre tratamientos en cada fecha, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

**Figura 4.4.** Humedad de suelo, durante tres temporadas 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C) en un seto cv Arbosana con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

**Figura 4.5.** Restos de poda (en fresco) extraídos de plantas de olivo, cv. Arbosana, podadas mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de

ET<sub>C</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>C</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y riego al 100 % de ET<sub>C</sub>) y U –RDC (Poda unilateral en años alternos y riego al 45 % de ET<sub>C</sub>) en los años 2017, 2018 y 2019, en San Juan, Argentina. Letras distintas se presentan cuando hay diferencias significativas entre tratamientos para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ .

**Figura 4.6.** Incremento del área de sección transversal de tronco (ASTT) en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>C</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>C</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>C</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>C</sub>) en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina. Letras distintas son presentadas cuando hay diferencias significativas entre tratamientos, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . El orden de las letras es según la leyenda de la figura.

**Figura 4.7.** Dinámica del volumen de copa medido luego de la poda (agosto) y en cosecha (mayo), en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>C</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>C</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>C</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>C</sub>), en San Juan, Argentina. Letras diferentes fueron presentadas cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos, para cada momento, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . El orden de las letras es según la leyenda de la figura.

**Figura 4.8.** Tasa de crecimiento de brotes, tanto de caras no podadas (A, B y C) como podadas (D, E y F). Figuras G (caras no podadas) y H (caras podadas) muestran la elongación de brotes final promedio, en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>C</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>C</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>C</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>C</sub>) en tres temporadas (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020), en San Juan, Argentina. Los signos “+” o letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

**Figura 4.9.** Densidad de inflorescencias, por Tratamiento (A), por Cara (B) y por Temporada (C), en olivos cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ETC), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ETC), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ETC) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ETC), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina. Letras

distintas o asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre fuentes de variación para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ .

**Figura 4.10.** Relación entre la elongación de brotes y la densidad de inflorescencias, en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en tres temporadas (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020), en San Juan, Argentina.

## ABREVIATURAS

<b>A/CL</b>	Relación entre el alto de la copa y el ancho de calle libre (adimensional)
<b>AF</b>	Área foliar ( $\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$ )
<b>ASTT</b>	Área de sección transversal de tronco ( $\text{cm}^2$ )
<b>B</b>	Poda bilateral (olivo)
<b>CIT</b>	Citation (intermediario)
<b>CTR</b>	Riego control (olivo)
<b>DAM</b>	Damas GF 1869 (intermediario)
<b>DOY</b>	Day of the year
<b>DPV</b>	Déficit de presión de vapor (kPa)
<b>EP</b>	Eficiencia productiva, kg de fruta por $\text{cm}^{-2}$ de ASTT
<b>ET<sub>0</sub></b>	Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ )
<b>ET<sub>c</sub></b>	Evapotranspiración de cultivo ( $\text{mm día}^{-1}$ )
<b>F/D</b>	Relación fuente/destino ( $\text{m}^2$ AF por cada 100 frutos cosechados; en duraznero)
<b>gs</b>	Conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
<b>HIA</b>	Hiawatha (intermediario)
<b>HW</b>	Poda manual invernal (duraznero)
<b>IM</b>	Índice de madurez (adimensional)
<b>Kc</b>	Coefficiente de cultivo (adimensional)
<b>Kr</b>	Proporción de suelo cubierto o coeficiente de cobertura (adimensional)
<b>KRY</b>	Krymsk <sup>®</sup> 1 (intermediario)
<b>LTB</b>	Largo total de brindillas ( $\text{m planta}^{-1}$ )
<b>MC</b>	Poda mecánica poscosecha (duraznero)
<b>MNP</b>	Monpol (intermediario)
<b>MON</b>	Monegro (portainjerto)
<b>MR</b>	Poda mecánica preraleo (duraznero)
<b>MRS</b>	MrS 2/5 (intermediario)
<b>MW</b>	Poda mecánica invernal (duraznero)
<b>MYR</b>	Myran (intermediario)
<b>PC</b>	Pavie Catherine (variedad comercial, duraznero de industria)
<b>PEf</b>	Precipitación efectiva (mm)
<b>PF</b>	Peso fresco (g)
<b>ψ</b>	Potencial hídrico de tallo al mediodía (MPa)
<b>PS</b>	Peso seco (g)
<b>RDC</b>	Riego deficitario controlado (olivo)
<b>U</b>	Poda unilateral (olivo)
<b>UE</b>	Unidad experimental

## PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y DE DIVULGACIÓN

### Publicaciones científicas

**Calderón, F. J.,** Weibel, A. M., Trentacoste, E. R. (2021). Effects of different interstock length on vegetative growth and flowering in peach cv. Pavie Catherine. *Scientia Horticulturae*, 285, 110174. (experimento Cap. I).

### Presentaciones a congresos

Presentación de avance del experimento en olivo (Cap. IV), en el XVI Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal (noviembre 2018 – Córdoba, Argentina): “Respuesta del crecimiento vegetativo a la poda lateral sobre una cara en setos de olivo (cv. Arbosana) en San Juan, Argentina”. (Libro de resúmenes, p. 52).

Jornada de actualización técnica CREA olivícola San Juan “20° aniversario” (21 de noviembre de 2019) “Respuesta del crecimiento vegetativo y producción a la poda lateral sobre una cara en setos de olivo (cv. Arbosana) en San Juan, Argentina” (experimento Cap. IV)

Exposición de avance de experimento de poda mecánica en duraznero (experimento Cap. III), en el marco de las “Jornadas de mecanización en vid, olivo y frutales: hacia una producción mecanizada”. Llevadas a cabo en la EEA Junín, 31 de octubre y 1 de noviembre de 2019. ([https://inta.gob.ar/sites/default/files/hacia\\_una\\_produccion\\_mecanizada.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/hacia_una_produccion_mecanizada.pdf)).

### Publicaciones de divulgación

Calderón, Facundo; Weibel, Antonio; Trentacoste, Eduardo. *Revista Campo Andino*. “La poda mecanizada es el primer paso para la mecanización integral” (Durazno para industria). Año XI, N°50, julio-agosto de 2019, p. 14 y 15.

Calderón, Facundo. “INTA Junín evaluó distintas alternativas de poda mecánica en duraznero para industria”. Boletín informativo del Centro Regional Mendoza-San Juan INTA, “Innovando para el agro cuyano”. Año 3, N°14, 7 de junio de 2022 (<https://inta.gob.ar/noticias/inta-junin-evaluo-distintas-alternativas-de-poda-mecanica-en-duraznero-para-industria>) (experimento Cap. III).

Participación de la convocatoria Tesis en 2 minutos – Edición 2020 (exposición del tema de tesis). Organizada por la Dirección General de Sistemas de Información, Comunicación y Procesos. ([https://www.youtube.com/watch?v=V2T2yxJJbtw&list=LL&index=2&ab\\_channel=INTAArgentina](https://www.youtube.com/watch?v=V2T2yxJJbtw&list=LL&index=2&ab_channel=INTAArgentina))

## Otras participaciones y colaboraciones desarrolladas durante la tesis

Trentacoste, E. R., **Calderon, F. J.**, Puertas, C. M., Banco, A. P., Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Connor, D. J. (2018). Vegetative structure and distribution of oil yield components and fruit characteristics within olive hedgerows (cv. Arbosana) mechanically pruned annually on alternating sides in San Juan, Argentina. *Scientia Horticulturae*, 240, 425-429.

Trentacoste, E. R., **Calderon, F. J.**, Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Banco, A. P., Puertas, C. M. (2019). Effect of regulated deficit irrigation during the vegetative growth period on shoot elongation and oil yield components in olive hedgerows (cv. Arbosana) pruned annually on alternate sides in San Juan, Argentina. *Irrigation Science*, 1-14.

Monasterio, R. P., Banco, A. P., **Caderón, F. J.**, Trentacoste, E. R. (2021). Effects of pre-harvest deficit irrigation during the oil accumulation period on fruit characteristics, oil yield extraction, and oil quality in olive cv. Genovesa in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management*, 252, 106901.

Trentacoste, E. R., Calvo, F. E., Sánchez, C. L., **Calderón, F. J.**, Banco, A. P., Lémole, G. (2022). Response of inflorescence structure and oil yield components to source-sink manipulation by artificial shading in olive. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 34(2), 171-183.

Colaboración en la edición y revisión del libro de “Colección de olivos en Mendoza, Investigación y Caracterización de variedades” de la EEA Junín. (<https://inta.gob.ar/documentos/coleccion-de-olivos-en-mendoza-investigacion-y-caracterizacion-de-variedades-5>)

Participación en convenio de vinculación técnica entre la empresa Chediack (Chilecito, La Rioja) e INTA (EEA Chilecito y EEA Junín) para llevar a cabo ensayos de poda mecánica en setos superintensivos de olivo.

Participación del Proyecto Estructural I177: Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la Agricultura. Dentro del nodo: gestión de la información generada a campo. Línea: Uso de imágenes para la determinación de la densidad floral y la biomasa remanente y extraída en setos de olivo podados mecánicamente.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Argentina posee 556.000 ha cultivadas con frutales, siendo la vid la especie predominante (215.300 ha). Mendoza es la provincia con mayor superficie plantada con frutales (214.400 ha), de las cuales 151.500 ha están ocupadas por vid y 62.900 ha por otras especies frutales (Sánchez, 2020). De esas 62.900 ha un 43,7 % corresponde a frutales de carozo (durazneros, ciruelos y damascos) y un 35,8 % a olivos. En los últimos 20 años la superficie frutícola a nivel nacional y provincial ha ido disminuyendo, a causa del elevado costo de las explotaciones frutales y a que los precios pagados al productor no logran cubrirlos (Sánchez, 2020). Como consecuencia, un gran número de productores frutícolas han desaparecido o cambiado a otros cultivos de mayor rentabilidad. Como en la mayoría de las economías regionales, la escasez y falta de calificación de la mano de obra para labores específicas es una de las razones que atentan contra el futuro del negocio frutícola. A su vez la reducida disponibilidad de mano de obra produce un incremento en el precio del jornal generando un aumento en los costos de producción.

Para mejorar la rentabilidad de la producción frutícola podemos mencionar como posibles soluciones (i) reducir los costos por superficie, y (ii) elevar la producción por unidad de superficie. La reducción de los costos podría lograrse por una disminución del número de jornales y/o mejorando las condiciones laborales para alivianar así ciertas labores y obtener una mayor eficiencia a la hora de realizar una tarea cultural (Paunero, 2017). En los últimos años, la mecanización (ya sea total o parcial dependiendo de cada cultivo) y la innovación tecnológica, parecen las alternativas más utilizadas para reducir los costos de producción (Torregrosa et al., 2008; Novello et al., 2014). En el caso particular de la producción olivícola y de durazno para industria, la existencia, disponibilidad y adopción de la maquinaria específica es lenta y variable entre productores y especies. Mundialmente la incorporación de maquinaria es cada vez más

importante (Huffman, 2012) y por eso debe considerarse en la fruticultura local, ya sea para nuevas plantaciones o en aquellas ya existentes.

Desglosando el calendario anual de intervenciones culturales, las dos tareas más demandantes son la poda y la cosecha, representando en conjunto entre el 60 y 70 % de los costos totales de producción (Fundación IDR, 2013). En las últimas décadas, la atención y los principales avances se han centrado en el desarrollo de maquinarias para la mecanización de la cosecha adaptadas a un gran número de especies frutales, primero en vid (Pezzi y Martelli, 2015), y más recientemente en otros frutales como el olivo (Ravetti, 2004), ciruelo y duraznero (Mika et al., 2015) o en almendro (Maldera et al., 2021). Para que la mecanización de la cosecha sea posible con las maquinas actualmente disponibles, se requiere que las dimensiones y estructura de las plantas se adapten a las dimensiones de la cosechadora seleccionada, permitiendo el avance de la maquinaria sin producir daños en las plantas ni sobre la fruta (Castillo-Ruiz et al., 2015). En el caso de durazneros, actualmente la maquinaria desarrollada para cosecha consiste en plataformas que llevan a los operarios en altura, evitando el uso de escaleras (Magdalena et al., 2011). Sin embargo, en España ya se han realizado pruebas de cosechas continuas con máquinas cabalgantes cuando el destino del durazno es la industria (Calvo y Díaz Gómara, 2016). En olivos, donde la fruta destinada a la elaboración de aceite o aderezo debe ser procesada industrialmente, la disponibilidad y desarrollo de maquinaria de cosecha es mayor. Actualmente las cosechadoras más empleadas van desde las discontinuas basadas en el vibrado de tronco hasta las continuas tipo cabalgantes (Ravetti, 2004; Castillo-Ruiz et al., 2017).

Los avances en la mecanización de la cosecha de frutales han estado acompañados por cambios en el diseño de las plantaciones y en el manejo de los cultivos. El cambio más evidente es el uso de plantas de menores dimensiones que facilitan el avance de las cosechadoras e incrementan la eficiencia de recolección (Ladux et al., 2021). El manejo de plantas de menor tamaño posibilita reducir la distancia entre hileras, resultando en un incremento de la densidad de plantación, con la consecuente ventaja de alcanzar una mayor y rápida cobertura vegetal por superficie con respecto a los marcos tradicionales (Gómez-del-Campo et al., 2020). Las plantaciones en alta densidad (>800 plantas ha<sup>-1</sup>) se caracterizan por tener un alto costo inicial de implantación que luego se compensa con una precoz entrada en producción, un aumento del rendimiento

por hectárea y la posibilidad de mecanizar labores para lograr mayor eficiencia en su realización (Iglesias y Echeverría, 2022). En plantaciones en alta densidad se ha tendido al uso de cultivos de canopia continua, que llevan el nombre de seto.

Las plantaciones en seto permiten la mecanización integral (i.e. poda, cosecha, aplicación de productos fitosanitarios, entre otras) del monte frutal. Se encuentran difundidas en una amplia gama de especies frutales como pera y manzano (Palmer 1989), vid (Smart et al., 1990), frutales de carozo (DeJong y Doyle, 1985, en duraznero; Ryugo y Mikuckis, 1969, en cerezo), cítricos (Wheaton et al., 1978), los frutales de nuez (Beyhan, 2007 en avellano; McFayden et al., 2013 en macadamia; Wood y Stahmann, 2004 en pecán) y en olivo (Connor et al., 2014). Las canopias de estas plantas ocupan el espacio asignado a lo largo de la hilera y con un ancho específico para el paso y operación de la cosechadora, logrando una alta intercepción de la radiación solar que aumenta la precocidad y la producción, de forma más evidente en los primeros años. En la región del oeste argentino las condiciones ambientales (alta radiación, escasez hídrica, heterogeneidad de suelos) y el poco conocimiento respecto al manejo de los cultivos en seto han llevado a que se produzcan ciclos de alternancia productiva muy marcados y pérdidas en la productividad con el transcurso de las campañas; probablemente originado por erróneos manejos en el balance vegetativo-reproductivo (Diez et al., 2016; Gómez-del-Campo et al., 2017). El destino de la producción es también un condicionante para la expansión de los cultivos en alta densidad mecanizados. Se deben adaptar los paquetes tecnológicos para cada cadena frutícola, manteniendo la premisa de disminuir costos y mantener la productividad. Esto debe ser así ya que no es lo mismo una fruta que luego de recolectada será procesada en la industria con respecto a una que se consumirá en fresco, la cual no debería tener, por ejemplo, daños mecánicos (Torregrosa et al., 2008). El desarrollo o la adaptación de la maquinaria específica para cosecha y el grado de avance, tanto en la investigación como en el uso cotidiano por parte del productor, difieren entre especies.

En cultivos en seto la copa debe ocupar el espacio asignado a cada planta y la hilera debe asemejarse a una pared vegetal continua y de dimensiones definidas (Gómez-del-Campo et al., 2020). La poda permite formar y contener la estructura de la planta, balancear la relación entre fuentes y destinos, eliminar material enfermo o muerto, ayudar a la aireación de la copa, entre otras finalidades. La intensidad de la poda y el

momento en que se realiza alteran el crecimiento y el desarrollo del árbol debido a que tanto los órganos eliminados como los no eliminados actúan como fuente y destino de agua, nutrientes, hormonas y fotoasimilados (López et al., 2008; Gordon y De Jong, 2007; Ryan et al., 2018). Siguiendo con la premisa de una mecanización integral del monte frutícola, la poda también debería ser mecanizada para bajar los costos en plantaciones en seto. En contraste con la poda manual, la principal característica de la poda mecánica es la no selectividad de brotes y ramas al momento de su ejecución (Sansavini, 1978), esto es así debido a que no se elige individualmente el material a extraer y aquel que se va a dejar en la planta. Esta “no discriminación” del tipo de material a podar puede generar excesos de vigor y desbalances vegetativo-reproductivos (Rosati et al., 2018a y 2018b), si no se ajusta la intensidad de intervención o se ingresa a podar en un momento del ciclo inadecuado (Mediene et al., 2002; Ikin et al., 2014).

El momento de intervención (i.e. momento durante ciclo anual) puede variar en relación a los objetivos de manejo que se buscan. En el caso de necesitar una renovación de la estructura de la planta, por ejemplo, se podará material seco o con poco potencial de generar yemas vegetativas y reproductivas (Mediene et al., 2002). En el caso de buscar una mejor calidad de fruta o tamaño se realizan podas en verde (Lesicar et al., 2016). La poda mecánica se caracteriza, además de ser no selectiva, por realizar cortes de rebaje, lo que puede llevar a un incremento del vigor vegetativo de las plantas (Albarracín et al., 2017). La poda mecánica puede requerir ser complementada con otras prácticas de manejo tendientes a reducir el vigor, de manera que mantengan el tamaño y la forma de los setos compatibles con la maquinaria de cosecha disponible. Estas estrategias complementarias resultan más relevantes en ambientes con alta disponibilidad de recursos (radiación y temperatura) como en los que se desarrolla actualmente parte de la fruticultura en Argentina.

En esta tesis, se evaluará el uso de intermediario (i.e. porción de material de otro origen genético injertado entre el portainjerto y la variedad comercial) como estrategia complementaria para reducir el vigor vegetativo en duraznero para industria (Capítulo II). Estudios previos en manzano cv. Annurca (Di Vaio et al., 2008) observaron una reducción en el volumen de las plantas y en la madera de poda extraída cuando emplearon intermediarios (M.9 y M.27) entre el portainjerto y la variedad comercial, en

comparación con el control sin intermediario. También, evaluaremos diferentes momentos de aplicación de poda mecánica en duraznero (Capítulo III). El manejo de canopia en verde permite la disminución del crecimiento vegetativo, tal como observaron Hossain et al. (2006) en duraznero cv. Hikawahakuho, donde el número de brotes formado al año siguiente de una poda de verano fue la mitad que en las plantas podadas en invierno. Por último, se abordará el estudio de la poda mecánica complementada con la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado en setos superintensivos de olivo (Capítulo IV). En un trabajo previo, Trentacoste et al. (2019), en olivos cv. Arbosana podados mecánicamente en una cara bajo déficit hídrico primaveral (al 30 y 50 % de la evapotranspiración de cultivo, ET<sub>c</sub>), se registró un 65 % menos ancho y un 27 % menos alto, en promedio, comparado con árboles regados al 70 % de la ET<sub>c</sub>.

Entonces, teniendo en cuenta las particularidades de ambas especies (duraznero y olivo) la poda mecánica en plantaciones en seto puede ser una buena herramienta para adaptar la forma de las plantas y su estructura a la cosecha mecánica, además del consecuente ahorro de costos para esta labor. Las estrategias complementarias deben apuntar a mantener esa forma dentro de cierto rango óptimo, contener rebrotes vegetativos vigorosos (i.e. chupones) y disminuir el sombreado de los distintos órganos de la planta, según el momento fenológico que se encuentre el cultivo.

Por lo tanto, la siguiente tesis tiene como **objetivo general** evaluar la poda mecánica, complementada con otras estrategias de manejo que restringen vigor vegetativo (uso de injertos intermediarios y riego deficitario controlado en primavera), en dos especies importantes de la región: el duraznero (*Prunus persica* L.) para pulpa o mitades y el olivo (*Olea europea* L.) con destino aceitero. Como **hipótesis general** se plantea que será factible mecanizar totalmente la poda en el momento e intensidad adecuada, tanto en setos de durazneros como en olivos, logrando contener las dimensiones de la copa de los setos de cada especie con estrategias de manejo complementarias (material genético y riego deficitario controlado en primavera), sin disminuir significativamente la producción. Los objetivos específicos y las hipótesis de investigación particulares se desarrollaron en cada capítulo por separado ya que se corresponden con un experimento diferente cada uno.

## CAPÍTULO II

### Efecto de la altura de injerto de siete intermediarios diferentes sobre el crecimiento vegetativo y la floración en duraznero cv. Pavie Catherine

#### 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, actualmente la expansión y sostenibilidad del cultivo de frutales en general y de durazneros en particular, está limitada debido a la baja rentabilidad. Esto debe ser resuelto, en parte con énfasis en la reducción de costos, como sucede en otros países (DeJong et al., 2008). En la producción de duraznos, la poda y la cosecha son dos de las labores más demandantes en mano de obra, representando más del 60 % de la mano de obra total (Fundación IDR, 2013). En otros frutales como perales, manzanos y olivos la mecanización, ya sea total o parcial, de la poda y especialmente la cosecha reducen los costos laborales, así como también permite una intervención más rápida y oportuna. La mecanización del cultivo está usualmente acompañada de un aumento en la densidad de plantas (Wagenmakers, 1991) y de una adaptación de la forma de la canopia a la maquinaria de cosecha disponible.

Incrementar la densidad de plantas permite alcanzar un continuo del canopeo y un incremento en la cobertura de la copa (Lordan et al., 2019), lo que conduce a un incremento de la precocidad y una mayor producción por unidad de superficie (Cline, 2019), durante los primeros años del cultivo. En plantaciones realizadas en alta densidad, el crecimiento debe ser contenido desde el inicio del cultivo, para evitar un sombreado excesivo en las partes bajas e internas de la canopia (He et al., 2008). Portainjertos enanizantes o desvigorizantes son herramientas efectivas para promover la ramificación (Jacyna, 2002) y reducir el crecimiento vegetativo, estando disponibles en manzanos, perales y granados entre otros (Atkinson y Else 2001; Goldschmidt, 2014). En durazneros, la serie RootPac® (RootPac® 20 y RootPac® 40) han sido recientemente desarrollados para lograr plantas de menor porte (Scalisi et al., 2018). El riego deficitario controlado es otra estrategia para reducir el crecimiento vegetativo en durazneros y

otros frutales (López et al., 2008). La reducción de la expresión vegetativa puede lograrse empleando reguladores del crecimiento, como el paclobutrazol o la prohexadiona cálcica (Miller, 2002; Ajmi et al., 2020). El uso de reguladores del crecimiento debe estar sujeto a las regulaciones locales y las dosis ajustadas al mínimo necesario. El manejo de la canopia en verano (Ikinci et al., 2014) y el uso de intermediarios o injertos filtro (Webster, 1995) han sido evaluados como herramientas para manejar el vigor en algunos frutales, aunque con resultados contrastantes.

Al injertar con intermediarios se emplea un material genético diferente entre el portainjerto y el cultivar comercial. Así, la planta está formada por tres diferentes individuos vinculados mediante un injerto doble. Los intermediarios inicialmente fueron estudiados como herramienta para superar alguna incompatibilidad entre ciertas combinaciones injerto/portainjerto con potencial agronómico (Rogers y Beakbane, 1957). Más recientemente, diversos intermediarios han sido evaluados en naranjo (Cámara et al., 2003), duraznero (Weibel y Reighard, 2011) y manzano (Kardilag et al., 2014), en un intento de controlar el vigor del cultivar comercial, aprovechando portainjertos con un buen desempeño bajo condiciones de estrés ambiental u otras limitaciones de recursos como tolerancia a la sequía o al exceso de agua, salinidad del suelo, suelos pesados o para superar el replante, entre otras (Mestre et al., 2017; Zarrouk et al., 2010).

Di Vaio et al. (2009) evaluaron dos intermediarios enanizantes en dos cultivares de manzano. Los autores observaron que los intermediarios más largos propiciaron un aumento del peso de la fruta, la madurez fue más temprana y aumentó la eficiencia del rendimiento por planta. Nalage et al. (2010), en mango cv. Kesar, estudiaron 4 alturas de injertado (desde 4 a 10 cm) y observaron que el crecimiento vegetativo del cultivar comercial se redujo (i.e mayor control del vigor) cuando se incrementó la altura del injerto. Estos estudios sugieren que el control del vigor de los intermediarios podría afectar el vigor del injerto además de los efectos de la raíz (Webster, 1995). En el cultivo de duraznero han sido poco estudiadas ambas tecnologías (intermediarios y altura de injerto), y pueden ser interesantes para permitir un control efectivo del vigor necesario en plantaciones más densas.

En base a los antecedentes el **objetivo** de este trabajo fue evaluar la influencia de siete intermediarios de diferente origen genético y dos alturas de injerto sobre el

crecimiento vegetativo y la floración de duraznero cv. Pavie Catherine, en el departamento de Junín, provincia de Mendoza. Basados en el objetivo de este experimento se enunciaron las siguientes **hipótesis** de trabajo:

***H1:** El empleo de intermediarios en duraznero ejercerá un control del tamaño de copa del cv. Pavie Catherine, comparado con aquellas plantas sin intermediario. La magnitud del control del crecimiento vegetativo dependerá del material genético empleado como intermediario. El aspecto reproductivo también será afectado por el uso de intermediarios y dependerá del origen genético, modificando la densidad de flores por un acortamiento de los brotes sin modificación del número de flores.*

***H2:** El empleo de un intermediario de mayor longitud ejercerá un mayor control vegetativo del cv. Pavie Catherine, respecto a un intermediario más corto. Esto se evidenciará por un menor tamaño de copa y por un menor número y largo de brotes. El acortamiento de brotes reproductivos provocará un aumento en la densidad de floración, aunque el menor número de brotes llevará a similar el número de flores totales a nivel de planta entera entre tratamientos. Plantas con intermediario largo tendrán una mayor cantidad de frutos por ASTT, es decir, serán más eficientes productivamente.*

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Sitio, material vegetal y diseño experimental**

El experimento se llevó a cabo durante las temporadas 2017, 2018 y 2019, en una parcela de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch), implantada en 2017, en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Junín, provincia de Mendoza, Argentina (33° 6' S; 68° 29' O; 653 m.s.n.m). El clima de la región es árido templado, con una temperatura media anual de 15,6°C (valor promedio de 1999 a 2018), una temperatura máxima media anual de 24,6 °C y una temperatura mínima media de 8,3 °C. La precipitación anual promedio es de 216 mm, con eventos concentrados mayormente desde enero a marzo. El suelo es profundo (>4 m), franco-arenoso (Entisol torrifluvent típico) sin problemas de salinidad o sodicidad.

Plantas de un año del portainjerto Monegro propagadas mediante estacas semileñosas fueron trasladadas a vivero convencional en el invierno de 2015 bajo condiciones de campo. En la primavera 2016, los portainjertos Monegro fueron injertados con siete diferentes materiales genéticos para emplearlos como intermediarios (Tabla 2.1). En el invierno del 2017, ocho plantas de cada combinación portainjerto/intermediario y siete portainjertos (sin intermediarios) fueron trasplantados en la parcela experimental. Se seleccionaron plantas uniformes y sanas y se ubicaron al azar en 10 hileras separadas 2,5 m entre ellas y 1,0 m entre plantas sobre la misma hilera. La parcela experimental fue bordeada por plantas de la combinación Monegro/Pavie Catherine (sin intermediario). En septiembre de 2017, los intermediarios fueron injertados con el cv Pavie Catherine (PC), una mitad se injertó a 5 cm y la otra mitad a 35 cm medidos desde el nivel del suelo.



**Imagen 1.** Prendimiento de injerto, del cv Pavie Catherine (Foto: F.J. Calderón)

**Tabla 2.1.** Nombre, abreviatura y origen de los distintos materiales genéticos empleados como intermediarios/portainjertos, en duraznero cv Pavie Catherine.

Nombre	Abr.	Origen	País (bibliografía)
Citation	CIT	<i>P. persica</i> x <i>P. salicina</i>	EE.UU. (Webster, 1996)
Damas GF 1869	DAM	<i>P. domestica</i> ssp. <i>insititia</i> x <i>P. spinosa</i>	Francia (Webster, 1996)
Hiawatha	HIA	<i>P. besseyi</i> x <i>P. salicina</i>	EE.UU. (Weibel y DeJong, 2003)
Krymsk® 1	KRY	<i>P. tomentosa</i> x <i>P. cerasifera</i>	Rusia (Maas et al., 2011)
Monpol	MNP	<i>P. domestica</i> ssp. <i>insititia</i>	España (Webster, 1996)
Monegro	MON	<i>P. dulcis</i> Mill. x <i>P. persica</i> L. Bastsch	España (Martinazzo et al., 2011)
MrS 2/5	MRS	<i>P. cerasifera</i> x <i>P. spinosa</i>	Italia (Webster, 1996)
Myran	MYR	( <i>P. cerasifera</i> x <i>P. salicina</i> ) x <i>P. persica</i>	Francia (Webster, 1996)

Durante el experimento las plantas fueron regadas por goteo usando emisores de  $2 \text{ L h}^{-1}$  espaciados cada 75 cm, en una sola línea de manguera por hilera. La frecuencia y cantidad de agua suministrada fue calculada para cubrir el 100 % de la demanda del cultivo. No se realizó ningún tipo de poda para formar la canopia de PC, sólo se extrajeron periódicamente los rebrotes del intermediario y del portainjerto. En octubre de 2018, se eliminaron todas las flores para permitir máximo crecimiento vegetativo. En noviembre de 2019, se dejaron todas las flores para luego realizar mediciones de floración y cuaje. Se llevó a cabo un control continuo de malezas, enfermedades y plagas.

El experimento tuvo un arreglo de parcelas divididas con 8 repeticiones. La combinación portainjerto/intermediario fue la parcela principal y el largo del intermediario fue considerado como subparcela. Cada subparcela consistió en un árbol. En cuanto al factor intermediario, siete materiales genéticos distintos fueron evaluados como intermediarios sobre el portainjerto Monegro. El octavo tratamiento (Testigo) consistió en plantas de PC injertadas sobre Monegro, sin intermediario.



**Imagen 2.** Parcela de intermediarios y altura de injerto, en duraznero cv Pavie Catherine.  
(Foto: F.J. Calderón)

## **2.2. Mediciones**

### **2.2.1. Prendimiento de injerto y sobrevivencia**

En diciembre de 2017 se midió el prendimiento del injerto. La proporción del prendimiento de injerto para cada combinación portainjerto/intermediario/PC fue determinada considerando el número de plantas inicialmente injertadas y trasplantadas en la parcela (siendo ese el 100 % inicial). Los injertos fallidos no fueron reemplazados. En febrero de 2019 se determinó la sobrevivencia del injerto contando las plantas en activo crecimiento vegetativo. Adicionalmente, se documentaron algunos síntomas de incompatibilidad visibles (i.e. hojas amarillentas o caídas, brotes secos o muertos, y/o muerte del injerto). Los casos de incompatibilidad fueron aquellos que evidenciaron alguno de los síntomas listados anteriormente. La proporción de sobrevivencia de injerto al tercer año, para cada combinación portainjerto/intermediario/PC, fue determinada considerando como 100 % el número de plantas con injerto exitoso en diciembre de 2017.

### **2.2.2. Crecimiento vegetativo**

Luego de la caída de hojas, el 23 y el 16 de mayo, de la primera y de la última temporada, respectivamente, se midió el diámetro del tronco con calibre digital. Las mediciones se hicieron sobre los tres componentes de la planta: portainjerto, intermediario y PC. En el tratamiento sin intermediario (Testigo) el diámetro de tronco fue medido en el portainjerto y en el cultivar PC. Las mediciones se realizaron 5 cm por encima de la unión portainjerto/intermediario, 5 cm por encima de la unión intermediario/PC o 5 cm por encima de la unión portainjerto/PC en los Testigos, según correspondía. El Área de Sección Transversal de Tronco (ASTT, en  $\text{cm}^2$ ) fue calculada, entre 2017 y 2019, para los tres componentes de cada planta. Se calculó el incremento en ASTT solamente para el cv Pavie Catherine. En 2019, simultáneamente a las mediciones de tronco, se contó el número de brotes y se midió el largo de los mismos. El largo total de brotes por planta fue calculado como la sumatoria de todos los brotes medidos. La altura de la canopia de PC se midió como la distancia desde la unión

intermediario/PC hasta el ápice del brote más alto. En ancho de canopia se calculó como el promedio de los anchos en la dirección Norte-Sur y Este-Oeste, respecto de las hileras. El volumen de canopia fue calculado como:

$$\text{Volumen de canopia} \left( \frac{\text{dm}^3}{\text{planta}} \right) = \text{ancho NS (dm)} * \text{ancho EO (dm)} * \text{altura PC (dm)}$$

### **2.2.3. Características y densidad de floración**

El 29 de agosto de 2019 se eligieron al azar y midieron diez brotes que tuvieran al menos una flor (i.e. brotes florales o reproductivos) alrededor de la canopia de cada planta. En esos brotes seleccionados se contó el número de flores en cada uno. Se calculó la densidad floral como el cociente entre el número total de flores por brote y el largo del brote floral (expresado como número de flores por metro de brote).

El 30 de agosto de 2019 el momento de floración fue estimado mediante inspección ocular en cada planta y clasificado en cuatro categorías (en porcentaje): 1- planta sin flores abiertas (<25 % de flores abiertas), 2- planta con unas pocas flores abiertas (25 al 50 % de flores abiertas), 3- planta con más de la mitad de flores abiertas (50 a 75 % de flores abiertas) y 4- planta con todas sus flores abiertas (>75 % de flores abiertas). Se consideraron como flores abiertas aquellas en etapa fenológica 65 de la escala BBCH (Lisandru et al., 2017).

El 3 de septiembre de 2019 se produjo una helada severa. El daño por helada se determinó contando el número de flores dañadas por planta (pétalos marrones, estambres marchitos o secos y/o flores caídas) y se expresó como porcentaje del total. El número de frutos por planta fue contado el 25 de noviembre de 2019.

### **2.2.4. Eficiencia vegetativa y reproductiva**

La eficiencia en el crecimiento vegetativo, aquí llamada “eficiencia vegetativa” se estimó como el cociente entre el volumen de canopia por planta y el ASTT. La eficiencia en el desarrollo reproductivo, aquí llamada “eficiencia de rendimiento”, se calculó como

el cociente entre la carga frutal (número de frutos por planta, contados en noviembre de 2019) y el ASTT.

### **2.3. Análisis estadístico**

Los datos de las variables respuesta fueron analizados mediante ANOVA, para evaluar el efecto de los intermediarios, la altura de injerto y su interacción. Se empleó el software InfoStat (versión 2018, Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Las medias se compararon usando el test LSD de Fisher para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . Se realizaron análisis de regresión para estudiar las relaciones entre materiales empleados como intermediarios o la altura de injerto y las eficiencias vegetativas y reproductivas. Las figuras fueron confeccionadas con el software GraphPad Prism versión 5.01 (San Diego, CA). En el caso del prendimiento y sobrevivencia de injerto se utilizó el análisis de Chi-cuadrado para proporciones, mediante los programas estadísticos R Studio (RStudio Team, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com>) y R-Medic (Mangeaud y Elías Panigo, 2018).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Prendimiento de injerto y sobrevivencia**

En diciembre de 2017 el porcentaje de injerto exitoso para todos los materiales genéticos estudiados fue superior al 80 % y no se observaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 2.2). Monegro, como Testigo, tuvo un éxito de injerto del 92 %. Entre intermediarios el éxito de injerto fue: 81 % en Citation (CIT), 83 % en MrS 2/5 (MRS), 87 % en Monpol (MNP), 94 % promedio en Hiawatha (HIA) y Krymsk 1<sup>®</sup> (KRY), y de 100 % en Damas GF 1869 (DAM) y Myran (MYR). Tres años después del injertado (i.e. febrero de 2019) MNP fue el único diferente del resto de los materiales con el menor porcentaje de sobrevivencia (60 %) (Tabla 2.2). Los otros materiales no se diferenciaron entre ellos: HIA, CIT y Testigo tuvieron sobrevivencias entre el 80 y 90 % y DAM y MYR tuvieron el

90 %. El cv PC injertado sobre KRY y MRS mostró un 100 % de supervivencia al tercer año.

**Tabla 2.2.** Prendimiento de injerto (%) en diciembre de 2017 y sobrevivencia de injerto (%) en febrero de 2019 de duraznero cv. Pavie Catherine en cada material usado como intermediario o portainjerto (función).

Material	Función	Prendimiento (%)	Sobrevivencia (%)
Citation	Intermediario	80,9	81,9 a
Damas GF 1869	Intermediario	100,0	90,0 a
Hiawatha	Intermediario	93,8	80,4 a
Krymsk® 1	Intermediario	93,8	100,0 a
Monpol	Intermediario	87,5	60,4 b
Monegro	Portainjerto	92,5	89,2 a
MrS 2/5	Intermediario	83,3	100,0 a
Myran	Intermediario	100,0	90,0 a

Medias en columnas seguidas por letras diferentes son estadísticamente distintas para  $P \leq 0.05$  mediante el test Chi-cuadrado para proporciones. Las letras se presentan solamente cuando el test de Chi-cuadrado indicó efectos significativos.

### **3.2. Crecimiento vegetativo**

Tres años luego del injertado, la interacción entre el intermediario y la altura de injerto no fue significativa para las variables medidas en PC: ASTT, altura de canopia, número de brotes y largo de brotes. Por esta razón se analizaron los efectos simples separadamente (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3.** Variables vegetativas del cultivar Pavie Catherine (PC) acumuladas del periodo de tres años (2017 a 2019), injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto y a dos alturas (5 cm y 35 cm) o a 5 cm (injerto bajo) y 35 (injerto alto) en altura medidos desde el nivel del suelo, para el caso del Testigo (Monegro).

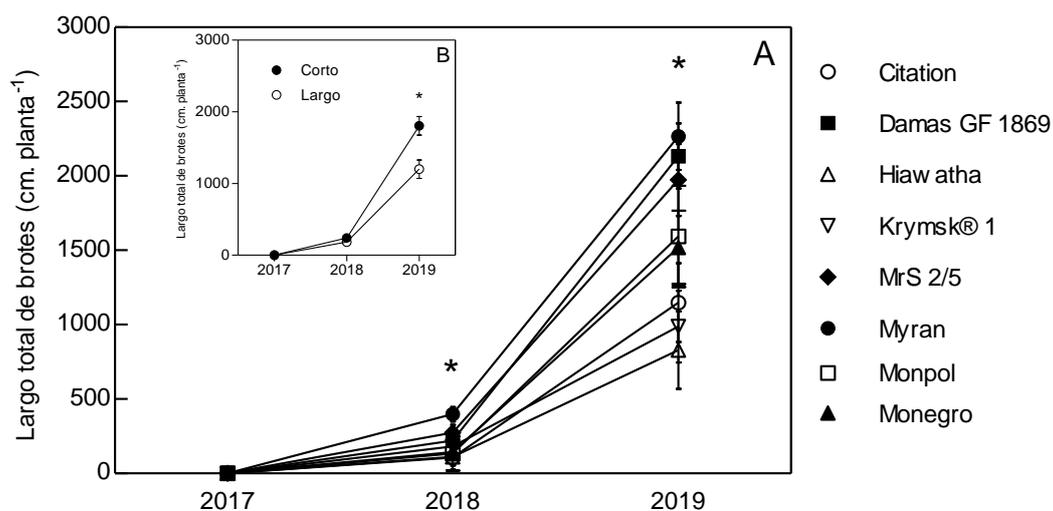
<b>Efectos principales</b>	ASTT del portainjerto (cm <sup>2</sup> )	ASTT del intermediario (cm <sup>2</sup> )	ASTT de PC (cm <sup>2</sup> )	Incremento del ASTT 2017-19 (cm <sup>2</sup> )	Altura de canopia (cm)	Largo total de brotes (cm)	Número total de brotes	Volumen de copa (dm <sup>3</sup> )
<b>Intermediario (I)</b>								
Citation	7,6 abc	10,1 cd	4,6 ab	2,4	92,2 a	1149,4 ab	52,1 ab	467,7 ab
Damas GF 1869	9,7 cd	8,8 bc	6,6 bcd	4,1	119,2 bc	1703,8 bcd	82,1 bc	748,9 bc
Hiawatha	4,9 a	3,0 a	3,8 a	2,7	80,9 a	828,5 a	35,9 a	302,0 a
Krymsk® 1	6,4 ab	6,2 ab	5,2 abc	3,3	98,1 ab	987,7 a	45,5 a	358,8 ab
Monpol	9,6 bcd	11,4 cd	5,9 abcd	3,8	128,8 c	1593,8 abcd	66,5 abc	642,4 abc
MrS 2/5	10,1 cd	9,9 bcd	7,2 cd	4,7	134,7 c	1972,7 cd	89,6 c	923,9 c
Myran	12,8 d	12,4 d	8,7 d	5,6	139,2 c	2266,5 d	95,4 c	1095,7 c
Monegro	9,1 bc	N/C	5,4 abc	4,2	133,2 c	1519,6 abc	57,9 ab	861,1 c
<b>Largo de intermediario</b>								
<b>o</b>								
<b>Altura de injerto (H)</b>								
Corto	9,6 b	11,1 b	7,0 b	4,7 b	132,7 b	1804,7 b	76,2 b	873,1 b
Largo	7,9 a	6,6 a	4,8 a	3,0 a	98,9 a	1200,8 a	55,1 a	541,3 a
<b>I x H</b>								
p-valor	0,1522	0,3129	0,2451	0,8451	0,8465	0,2024	0,0986	0,5966

La última línea muestra los p-valor para la interacción I x H. Medias en columnas seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes con un  $P \leq 0,05$  para test LSD de Fisher. N/C: no corresponde.

El ASTT del portainjerto fue significativamente afectado por el material empleado como intermediario. El ASTT del portainjerto injertado con HIA (4,9 cm<sup>2</sup>) y con MYR (12,8 cm<sup>2</sup>) fueron los únicos significativamente diferentes del Testigo. Las otras combinaciones mostraron un ASTT similar a la del tratamiento Testigo, que tuvo un ASTT de 9,1 cm<sup>2</sup>. El ASTT de los intermediarios también varió significativamente entre materiales genéticos. HIA mostró la menor ASTT (3,0 cm<sup>2</sup>), marcadamente menor que DAM, MRS, CIT, MNP y MYR (todos ellos con un ASTT promedio de 10,5 cm<sup>2</sup>). El ASTT medida en PC injertado en HIA y CIT tuvieron menores valores (3,8 y 4,6 cm<sup>2</sup>, respectivamente) respecto a MRS y MYR, aunque no se detectaron diferencias significativas respecto al Testigo (5,4 cm<sup>2</sup>). En contraste, PC injertado sobre MYR tuvo un ASTT significativamente mayor que el Testigo. El incremento del ASTT de PC desde 2017 a 2019 no fue significativamente diferente entre tratamientos incluyendo las combinaciones con intermediarios y con el Testigo.

Comparando el largo del intermediario entre materiales y la altura de injerto en el Testigo, cuando PC fue injertado a 35 cm, el ASTT medido en el portainjerto, intermediario y en el cultivar disminuyó un 21 %, 68 % y 46 %, respectivamente, comparado con los injertados a 5 cm. El incremento del ASTT desde 2017 a 2019 del PC injertado sobre intermediarios de 35 cm fue un 57 % menor que en el PC injertado sobre 5 cm de injerto intermediario.

La altura final de copa de PC injertado sobre HIA, CIT y KRY (promedio: 90,4 cm) fue significativamente menor que en el Testigo (133,2 cm) y en el resto de los intermediarios, con excepción de DAM (Tabla 2.3). El largo total de brotes de PC injertado sobre HIA y KRY registró los menores valores (828 y 988 cm planta<sup>-1</sup>, respectivamente), aunque sin diferencias estadísticamente significativas respecto del Testigo (1520 cm planta<sup>-1</sup>). En contraste, MYR incrementó significativamente el largo total de brotes un 49 % y un 149 % comparado con el Testigo y con HIA y KRY, respectivamente (Tabla 2.3 y Fig. 2.1A). El número de brotes por planta mostró un patrón similar, donde HIA y KRY tuvieron la menor cantidad de brotes, sin diferencias con el Testigo. Por el contrario, MRS y MYR presentaron el mayor número de brotes (90 y 95 brotes planta<sup>-1</sup>, respectivamente) comparado con el Testigo. El volumen de canopia de PC injertado sobre HIA, KRY y CIT fueron 2,3 veces menores al Testigo. El resto de los intermediarios y el Testigo presentaron similar volumen de canopia.



**Figura 2.1.** Largo total de brotes por planta en los tres años en que se desarrolló en experimento, (A) por intermediarios y (B) por largo de intermediario: 5 cm (corto) y 35 cm (largo). Las mediciones se realizaron durante el reposo vegetativo, en duraznero cv Pavie Catherine. Asteriscos, dentro del mismo año, indican diferencia significativa entre materiales genéticos o largo del intermediario (altura de injerto en el caso del Monegro, sin intermediario), con un  $P \leq 0,05$  para test LSD de Fisher.

Cuando se comparó la altura de injerto entre intermediarios y el Testigo, PC injertado sobre intermediarios de 35 cm produjo una menor altura de canopia, número y largo total de brotes en un 34 %, 38 % y 50 %, respectivamente, comparado con el injerto de PC en 5 cm de intermediario (Tabla 2.3 y Fig. 2.1B). El largo de intermediario de 35 cm mostró una mayor reducción en el volumen de canopia (61 %) comparado con los de 5 cm.

### **3.3. Características y densidad de floración**

El largo de los brotes florales, el número de flores por brote, la densidad de floración, la precocidad de floración, el daño por helada y la carga frutal, todas mediciones realizadas sobre PC, no respondieron significativamente a la interacción entre el material genético y el largo de intermediario. Por lo tanto, se analizaron individualmente los efectos principales (Tabla 2.4).

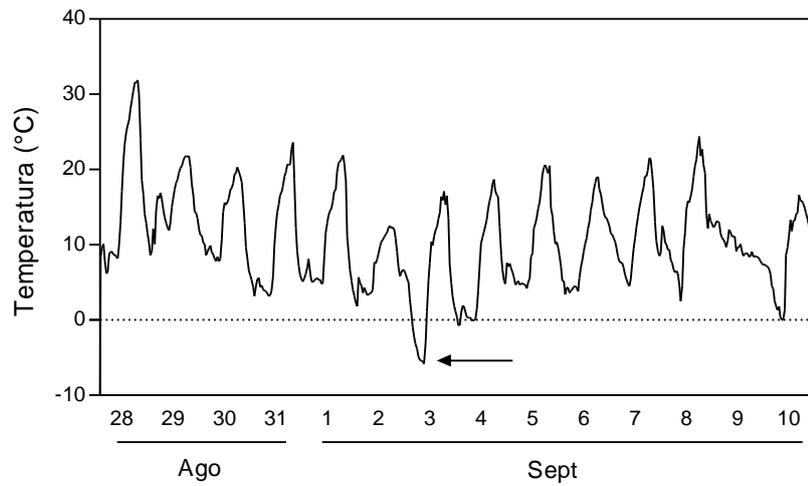
**Tabla 2.4.** Características de la floración y fructificación, variables medidas en brotes florales (i.e. brotes con al menos una flor), en duraznero cv. Pavie Catherine injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto con dos largos (5 cm – corto y 35 cm – largo, medidos desde la unión intermediario/portainjerto) y en el Testigo el portainjerto Monegro sin intermediario (a 5 cm – corto y 35 cm – largo, medidos desde los 5 cm del nivel del suelo). El daño por frío se midió luego de una helada ocurrida el 3 de septiembre de 2019.

<b>Efectos principales</b>	Largo de brote floral (cm brote <sup>-1</sup> )	Número de flores (# brote <sup>-1</sup> )	Densidad floral (# m <sup>-1</sup> )	Flores abiertas (%)	Flores dañadas (%)	Carga frutal (# planta <sup>-1</sup> )
<b>Intermediario (I)</b>						
Citation	22,4 ab	12,2 b	57,1 b	77,8 b	4,1 ab	91,5 abc
Damas GF 1869	23,4 ab	13,0 b	58,0 b	68,1 b	3,6 ab	114,6 cd
Hiawatha	18,6 a	8,8 a	51,0 b	47,9 a	0,6 a	31,0 a
Krymsk® 1	21,2 ab	12,5 b	59,0 b	37,5 a	0,4 a	58,4 ab
Monpol	22,1 ab	11,4 ab	52,4 b	72,5 b	13,8 c	106,0 bcd
MrS 2/5	24,0 abc	11,9 b	52,2 b	80,6 b	9,1 bc	110,0 bcd
Myran	25,0 bc	14,3 b	50,8 b	71,2 b	2,8 a	156,5 d
Monegro	26,3 bc	9,2 a	38,2 a	68,8 b	10,9 c	107,6 bcd
<b>Largo de intermediario</b>						
<b>o</b>						
<b>Altura de injerto (H)</b>						
Corto	25,7 b	12,0	46,8 a	75,6 b	6,5	117,7 b
Largo	20,6 a	11,4	57,9 b	55,5 a	4,8	76,2 a
<b>I x H</b>						
p-valor	0,6560	0,4908	0,2216	0,7841	0,8495	0,7453

La última línea muestra los p-valor para la interacción I x H. Medias en columnas seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes con un  $P \leq 0,05$  para test LSD de Fisher. Letras solamente se presentan cuando el ANOVA indica diferencias significativas.

Los brotes florales (i.e. brotes con al menos una flor) de las plantas con intermediario HIA tuvieron 18,6 cm de largo, significativamente más cortos que en el Testigo (26,3 cm). El resto de los intermediarios presentaron similar largo de brotes florales que el Testigo. El número de flores por brote floral fue similar en los tratamientos MRS, CIT, KRY, DAM y MYR (13 flores por brote, en promedio) y significativamente mayor que en el Testigo (9 flores por brote). HIA mostró la menor cantidad de flores por brote floral (8 flores) y no se diferenció del Testigo, mientras que MNP evidenció un número intermedio de flores por brote floral (11 flores). La densidad de floración fue alta en todos los intermediarios en un rango de 51 a 59 flores por metro de brote floral comparado con el Testigo (38 flores por metro de brote floral).

El porcentaje de flores abiertas (estado 65 de la escala BBCH, medido en agosto de 2019) fue menor en KRY y HIA, es decir hubo un retraso en la floración. El 3 de septiembre de 2019, ocurrió una helada severa. La misma duró siete horas y la temperatura bajó a -5,8 °C (Fig. 2.2). KRY y HIA tuvieron unas pocas flores dañadas (<1 %), seguidos de MYR, DAM y CIT (tuvieron daños entre el 2 % y el 4 %). Los tratamientos con mayor daño fueron el Testigo, MRS y MNP (11 %, en promedio). El PC sobre el intermediario HIA tuvo significativamente menor número de frutos (i.e. carga frutal) comparado con el Testigo, alrededor de 3,5 veces menos frutos.



**Figura 2.2.** Temperatura diaria, en los días previos y posteriores al 3 de septiembre de 2019, cuando ocurrió una helada severa. El evento duró 7 horas y alcanzó una temperatura mínima de -5,8 °C (flecha Negra), en Junín (Mendoza, Argentina).

Cuando se comparó el largo de intermediario con la altura de injerto en el Testigo, el PC injertado a 35 cm tuvo brotes florales más cortos. Sin embargo, tuvieron similar número de flores por brote comparado con los injertados a 5 cm. Consecuentemente, la densidad floral fue un 24 % más alta en plantas injertadas en intermediarios a 35 cm que aquellas injertadas en intermediarios a 5 cm. El largo del intermediario también afectó el momento de plena floración y el porcentaje de flores abiertas (55 % y 76 % en los intermediarios cortos y largos, respetivamente). Sin embargo, el daño por frío fue similar en ambos largos de intermediario. Además, plantas injertadas sobre 35 cm de intermediario tuvieron un 54 % menos de frutos por planta que aquellas injertadas en 5 cm de intermediario. En todos los casos esto probablemente se relacionó con el estado fenológico al momento de producirse la helada.

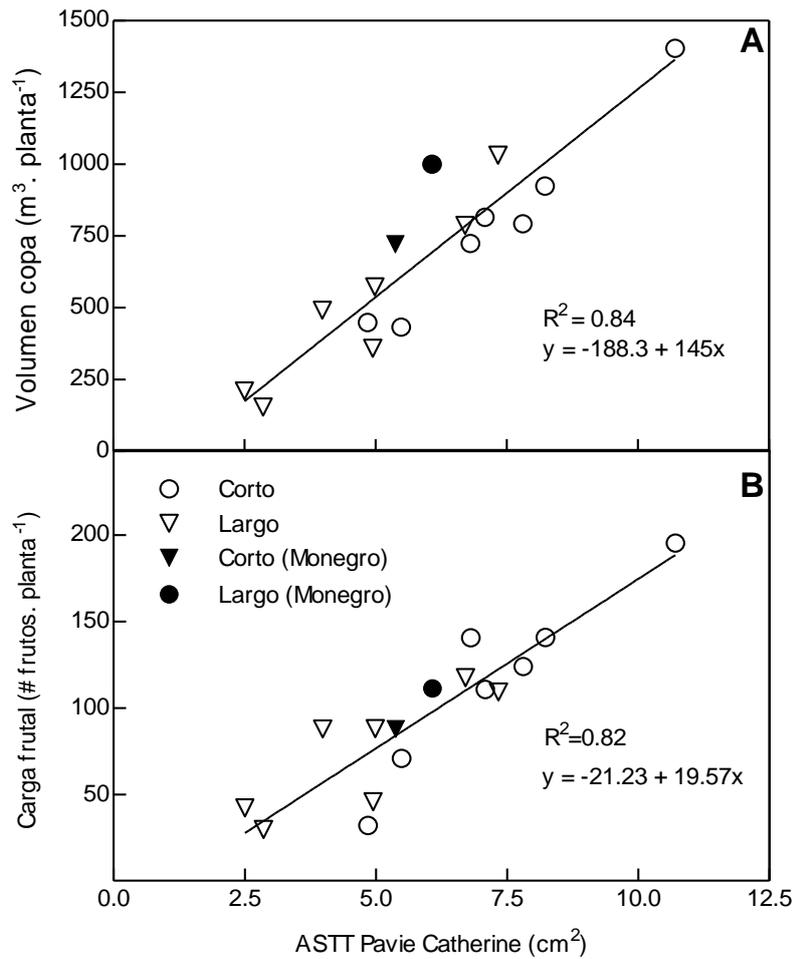
#### **3.4. Eficiencia vegetativa y reproductiva**

A partir de los datos mostrados en la Tabla 2.5, se ajustó un modelo lineal para la relación entre el ASTT y el volumen de canopia (Fig. 2.3A), y la carga frutal (Fig. 2.3B). El volumen de canopia de PC incrementó linealmente al incrementarse el ASTT ( $R^2 = 0,84$ ) medido en el cv PC. Similarmente, la carga frutal incrementó linealmente con el aumento del ASTT, con una tasa de 20 frutos al incrementar un  $\text{cm}^2$  el ASTT del cultivar ( $R^2 = 0,82$ ).

**Tabla 2.5.** Eficiencias vegetativa y productiva, en duraznero cv Pavie Catherine injertado sobre siete combinaciones intermediario/portainjerto con dos largos de intermediario (5 cm - corto - y 35 cm - largo-, medidos desde la unión intermediario/portainjerto) y en el Testigo solamente el portainjerto Monegro sin intermediario (a 5 cm -corto- y 35 cm -largo- medidos desde los 5 cm del nivel del suelo).

<b>Efectos principales</b>	<b>Eficiencia vegetativa (dm<sup>3</sup> canopia cm<sup>-2</sup> ASTT)</b>	<b>Eficiencia productiva (# frutos cm<sup>-2</sup> ASTT)</b>
<b>Intermediario (I)</b>		
Citation	84,1 ab	17,6
Damas GF 1869	106,9 bc	16,3
Hiawatha	58,8 a	12,6
Krymsk® 1	70,1 a	10,0
Monpol	108,1 bc	18,7
MrS 2/5	122,9 c	14,6
Myran	114,4 bc	16,7
Monegro	131,4 c	15,4
<b>Largo de intermediario o altura de injerto (H)</b>		
Corto	101,3	14,0
Largo	97,9	16,2
<b>I x H</b>		
p-valor	0,8652	0,4485

La última línea muestra los p-valor para la interacción I x H. Medias en columnas seguidas por una letra diferente son significativamente diferentes con un  $P \leq 0,05$  para test LSD de Fisher. ASTT: área de sección transversal de tronco. Letras solamente se presentan cuando el ANOVA indica diferencias significativas.



**Figura 2.3.** Relación entre (A) el volumen de canopia y (B) número de frutos por planta respecto al área de sección transversal de tronco (ASTT,  $\text{cm}^2$ ), de duraznero cv. Pavie Catherine injertado en siete intermediarios de distinto origen genético a dos largos de intermediario: 5 cm (corto) y 35 cm (largo).

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto del intermediario sobre variables vegetativas y reproductivas

En duraznero, los híbridos de almendro x duraznero (Monegro en este experimento, Felinem, Garnem, entre otros) han sido ampliamente utilizados como portainjertos debido a su tolerancia al “mal o enfermedad del replante” y a los suelos calcáreos, por su alta capacidad en la absorción de hierro y resistencia a nematodos (Bielsa et al., 2016). Sin embargo, los portainjertos híbridos de *almendro x duraznero* confieren un mayor crecimiento vegetativo al cultivar injertado sobre ellos, esto limita su uso en plantaciones en alta densidad (Lordan et al., 2018).

El empleo de intermediarios entre un portainjerto (en este experimento Monegro) y el cultivar comercial (en este caso Pavie Catherine) involucra tres materiales genéticos diferentes vinculados mediante una doble unión, los cuales previamente han sido asociados a algún grado de control del vigor sobre el cultivar (Olmstead et al., 2006). No obstante, nosotros observamos que la influencia del intermediario sobre el vigor vegetativo aparentemente estuvo más relacionado a características genéticas del intermediario que a la presencia de diferentes zonas de injerto (Tabla 2.4). Los intermediarios HIA, KRY y CIT redujeron significativamente el número de brotes, el largo total de brotes y el volumen de canopia respecto a los otros intermediarios estudiados y al Testigo (Tabla 2.3). Algo similar a lo expuesto por Weibel et al. (2004), que encontraron que HIA empleado como portainjerto, en duraznero, provocaba una reducción del crecimiento vegetativo (medido como ASTT y crecimiento total de brotes) de los cvs. Loadel y Flavorcrest comparado con el portainjerto desvigorizante Nemaguard. Por otro lado, los intermediarios MYR y MRS mostraron, en el cv. PC un patrón opuesto, evidenciando un incremento en el número y el largo total de brotes, con valores similares y a veces superiores respecto al tratamiento Testigo. Esto fue similar a los observado por Kosina (1994), quien encontró mayor crecimiento vegetativo en ciruelos cv Stanley injertados sobre portainjertos de ciruelo Myrabolán respecto a aquellos injertados sobre el portainjerto Damas C. Lo anteriormente mencionado evidencia un comportamiento similar (al vigorizar o restringir crecimiento vegetativo)

de un mismo material cuando es usado como intermediario en nuestro experimento y como portainjerto en otros estudios. La influencia de HIA, KRY y CIT empleados como intermediarios puede estar relacionada más bien a una limitación en la capacidad de transporte de agua y fotoasimilados a través de la doble unión de injerto, como lo demostraron Oliveira et al. (2019). Diversos estudios sobre portainjertos se han centrado en las características del tronco y el control del vigor ha sido relacionado a un impedimento en la conducción hidráulica del agua, nutrientes y asimilados (Ben Yahmed et al., 2020) y a una disminución en la cantidad y calidad de los elementos de conducción (Tombesi et al., 2010).

En todos los intermediarios la densidad de flores fue mayor (54 flores por metro) que en el Testigo (36 flores por metro), esto probablemente ocasionado por un acortamiento de los brotes. Cuando se emplearon intermediarios se contaron 12 flores por cada brote, en promedio; mientras que en el Testigo se contaron 9 flores por brote (Tabla 2.4). La combinación portainjerto/HIA/PC redujo el número de flores por brote reproductivo y también redujo el largo de los brotes del PC, al compararlo con el resto de los tratamientos. Esto resultó en un valor similar de densidad floral y no se diferenció significativamente del resto de los tratamientos intermediarios (Tabla 2.4). Sosna y Kortylewska (2013) reportaron un incremento en la densidad floral al emplear intermediarios en perales. En la Tabla 2.4, se puede observar que KRY tuvo alta densidad de flores, sin embargo, no se evidenció una alta carga frutal. Esto pudo deberse al hecho que el cultivar injertado sobre KRY tuvo un largo total de brotes menor (Tabla 2.3), lo que se reflejó luego en una baja cantidad de flores totales por planta.

#### **4.2. Efecto del largo del intermediario sobre variables vegetativas y reproductivas**

Al tercer año del experimento, los PC injertados sobre intermediarios de 35 cm de largo evidenciaron una mayor reducción del vigor que aquellos injertados sobre porciones de 5 cm de intermediario (Tabla 2.3). Desde 2017 hasta 2019, los intermediarios de 35 cm tuvieron un menor incremento del ASTT ( $3,0 \text{ cm}^2$ ), comparado con los intermediarios de 5 cm ( $4,7 \text{ cm}^2$ ). La altura y el volumen de canopia en plantas con intermediarios de 35 cm también se redujeron un 34 % y 61 %, respectivamente, comparado con el uso de intermediario de 5 cm. El PC injertado a mayor altura desde la

unión portainjerto/intermediario implica una mayor porción de intermediario y una mayor distancia entre el sistema radical y la canopia, lo que puede disminuir la tasa de transporte de agua y nutrientes (Tombesi et al., 2010). Nuestros resultados concuerdan con lo observado por Di Vaio et al. (2009) quienes mostraron, en manzano, que un incremento en la porción de intermediario conduce a un volumen de copa más pequeño y a una menor ASTT. La reducción del vigor observada en materiales injertados a una mayor altura puede ser una estrategia útil y de bajo costo en plantaciones en alta densidad las cuales requieren plantas de bajo vigor (Menzel y Le Lagadec, 2017).

Los datos presentados respecto a las características de la floración, sugieren un mayor largo de los brotes reproductivos y un número similar de flores por brote en el PC injertado sobre 5 cm de intermediario, comparado con aquellos injertados sobre una porción de 35 cm de intermediario (Tabla 2.4). Similar a lo reportado en manzano por Seleznyova et al. (2008), la fecha de floración fue significativamente retrasada en los PC injertados sobre 35 cm de intermediario respecto a los injertados a 5 cm. Por esta razón, el largo de intermediario podría emplearse como estrategia para ambos objetivos, reducir vigor vegetativo en durazneros y además retrasar la fecha de floración para reducir el daño por heladas tardías en primavera. A pesar de no haberse encontrado diferencias en el daño por frío entre tratamientos de altura de injerto/largo de intermediario, esto puede resultar en una herramienta interesante para variedades de floración temprana y en áreas con alta frecuencia e intensidad de heladas tardías.

Cuando se agruparon todos los tratamientos (intermediarios y largos), un modelo lineal simple relacionó positivamente el ASTT con el volumen de canopia y con la carga frutal (Fig. 2.3). La eficiencia del rendimiento no mostró diferencias entre los tratamientos investigados, siendo el promedio de 20 frutos  $\text{cm}^{-2}$  de ASTT (Tabla 2.5). En contraste, Jimenez et al. (2011) observaron una respuesta diferencial de la eficiencia productiva entre los portainjertos Krymsk® 1 y Garnem. En nuestro estudio el intermediario KRY mostró mayor eficiencia productiva, explicada principalmente por una baja expresión vegetativa (medida como ASTT), aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

### **4.3. Discusión de hipótesis**

**H1:** *El empleo de intermediarios en duraznero ejercerá un control del tamaño de copa del cv. Pavie Catherine, comparado con aquellas plantas sin intermediario. La magnitud del control del crecimiento vegetativo dependerá del material genético empleado como intermediario. El aspecto reproductivo también será afectado por el uso de intermediarios y dependerá del origen genético, modificando la densidad de flores por un acortamiento de los brotes sin modificación del número de flores.*

El uso de intermediarios redujo el vigor vegetativo de la copa respecto de aquellas plantas sin intermediarios (Testigo). Similar a Kardilag et al. (2014) quienes observaron que un intermediario de 30 cm redujo entre un 12 % y 16 % de la altura de la planta en dos cultivares de manzano respecto de un control sin intermediario. Respecto a las diferencias entre materiales utilizados como intermediarios sobre los componentes vegetativos, el incremento del ASTT desde inicio a fin del experimento y la longitud de los brotes no fueron significativamente afectados. La altura y volumen de copa del cv. Pavie Catherine fueron reducidos sólo al emplear Hiawatha, Citation y Krymsk 1® como intermediarios, similar a lo expuesto por Weibel y Reighard (2011) donde la altura total de planta fue reducida un 50 % al emplear Krymsk 1® como intermediario. Por lo tanto, esta hipótesis es parcialmente aceptada, ya que hubo efecto por el uso del intermediario, aunque sin diferencias entre materiales empleados como intermediario y sin posibilidad de tener una escala en la contención del vigor según el material empleado.

En el aspecto reproductivo, se acepta parcialmente la hipótesis del incremento en la densidad de flores al emplear intermediarios, debido a que el aumento en la densidad floral fue por aumento en el número de flores y no sólo al acortamiento de brotes, como se enunció inicialmente. La variación, respecto al Testigo sin intermediario, se dio para todos los materiales debido a un mayor número de flores por brote y en menor medida al acortamiento de brotes. En cuanto a la eficiencia reproductiva en aquellos materiales que mostraron una restricción del vigor (Citation, Hiawatha y Krymsk 1®) no se observaron diferencias estadísticas con el Testigo.

**H2:** *El empleo de un intermediario de mayor longitud ejercerá un mayor control vegetativo del cv. Pavie Catherine, respecto a un intermediario más corto. Esto se*

*evidenciará por un menor tamaño de copa y por un menor número y largo de brotes. El acortamiento de brotes reproductivos provocará un aumento en la densidad de floración, aunque el menor número de brotes llevará a similar el número de flores totales a nivel de planta entera entre tratamientos. Plantas con intermediario largo tendrán una mayor cantidad de frutos por ASTT, es decir, serán más eficientes productivamente.*

El empleo de un intermediario más largo ejerció un mayor control de la expresión vegetativa ya que, el crecimiento del tronco fue menor, disminuyó la altura y el volumen de copa, también el número y largo de brotes fue menor. Lo anterior es similar a lo expuesto por Marcon Filho et al. (2010) donde exponen que a medida que aumenta la longitud del intermediario (de 10 a 30 cm), disminuye el tamaño de canopia, el diámetro del cultivar comercial injertado y el largo de los brotes. Respecto a la evidencia mencionada la hipótesis enunciada es aceptada.

En el aspecto reproductivo se observó que mayor longitud de intermediario produjo una menor densidad de flores, dada por un menor largo de brotes, mientras el número de flores por brote fue igual en ambas longitudes de intermediario. La menor densidad de flores produjo una menor carga frutal en plantas con intermediario largo. Esto último es similar a lo visto por Marcon Filho et al. (2010) donde el aumento en la longitud del intermediario (de 10 a 30 cm) disminuyó el número de frutos por metro lineal del brote. Se acepta parcialmente la hipótesis ya que hubo acortamiento de brotes y aumento de la densidad de floración en intermediarios largos pero la producción fue menor, contrario a lo enunciado en la hipótesis inicial. La eficiencia productiva no fue diferente entre largos de intermediario, contrario a lo expuesto por Larsen et al. (1987) donde vieron que el empleo de intermediarios en cereza cv. Bing aumenta la eficiencia productiva, en kg de fruta por cm<sup>2</sup> de tronco; en consecuencia, se rechaza la hipótesis inicialmente formulada.

## **5. CONCLUSIONES**

Nuestros hallazgos revelan que es factible reducir el vigor vegetativo en durazneros empleando determinados intermediarios según sus características genéticas. La influencia del intermediario sobre el vigor vegetativo tuvo un comportamiento similar

al que posee cuando es empleado como portainjerto. El largo del intermediario también fue efectivo para reducir vigor. Cuando se emplean intermediarios hay que tener en cuenta el periodo adicional necesario en vivero para la obtención de las plantas. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar la plantación y realizar el cálculo de costos. Se debe evaluar la relación costo/beneficio de plantar un año antes o lograr un bajo vigor de la canopia mediante el uso de intermediarios, sabiendo del año extra necesario en vivero. Lo anteriormente mencionado dependerá de si resulta más importante obtener un rápido retorno económico o se trata de contener el vigor de los árboles en las plantaciones en alta densidad.

La reducción del vigor vegetativo podría facilitar el diseño de cultivos en alta densidad con el objetivo de incrementar la precocidad de producción y el retorno económico. También se facilitarían ciertas prácticas culturales como la poda, el raleo (de flores o frutos), la aplicación de agroquímicos y la cosecha. Además, la mecanización integral de la producción de duraznero sería facilitada. Aún son necesarios más ensayos para evaluar la fuerza o calidad del área de injerto (si hay o no tendencia al quiebre del mismo), estudios para evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas durante periodos más largos y obtener máximos rendimientos del monte frutal.

## **CAPÍTULO III**

### **Influencia del momento de poda mecánica en duraznero cv. Pavie Catherine sobre el crecimiento vegetativo, el desarrollo reproductivo y la calidad industrial de los frutos**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente el manejo de las plantaciones frutales tiene como una de sus principales dificultades el alto costo laboral dentro de su esquema productivo. Esto se debe a la intensiva demanda en mano de obra para labores manuales (principalmente en poda, raleo y cosecha) y a la necesidad de contar con alta calificación de la misma (Fundación IDR, 2013; Giancola, 2017). El elevado costo laboral o incluso la ausencia de personal calificado para llevar adelante determinadas tareas, conduce a un menor grado de intervención, optando el productor por reducir los jornales destinados a ciertas labores o debiendo elegir las parcelas a intervenir, dejando de lado otras. Todo esto reduce la productividad y consecuentemente la rentabilidad de las plantaciones frutales. A lo anterior, se suman problemas externos como la falta de incentivos a la producción de frutales, ciertas variedades dejan de ser demandadas por el consumidor, el marketing de productos elaborados con frutas regionales no llega fuertemente al mercado y hay una disminución en el consumo de frutas (Baroni, 2017; Giacobone et al., 2018) por competencia con otros productos.

Una alternativa para incrementar la rentabilidad de la fruticultura es reducir los costos de producción asociados a las labores más importantes. Analizando la estructura de costos del negocio frutícola, la mayor demanda de mano de obra calificada se reparte en tres momentos del ciclo: poda, raleo y cosecha. En dichas actividades se concentra más del 70 % del costo de la mano de obra (Fundación IDR, 2013). En la cosecha se han logrado reducir costos mediante ayudas mecánicas que alivianan la tarea del cosechador como vibradoras de tronco, vibradores manuales, uso de bines dentro de la parcela, volcadores de bines, plataformas de cosecha, plantas de menor porte para reducir el

empleo de escaleras o incluso evitar su uso (Magdalena et al., 2011; Informe FEPEDI, 2017; Paunero, 2017). En algunas especies se han logrado cosechas semi o incluso completamente mecanizadas como es el caso del olivo (Tous et al., 2011), manzano (Peterson y Wolford, 2003) o ciruelo (Mika et al., 2015). Con el objeto de reducir la demanda de mano de obra generada por el raleo de frutos, se han realizado estudios con diversas máquinas, ya sea en floración o sobre frutos luego del cuaje en duraznero, manzano y mandarina (Schupp et al., 2008; Hehnen et al., 2012; Ortiz et al., 2020), logrando regular la carga frutal y bajar el costo de esta actividad. En el caso de la poda, no se encontraron en duraznero antecedentes científicos tendientes a alcanzar una intervención más veloz y efectiva, mediante mejoras en los métodos manuales (Magdalena et al., 2011) o el reemplazo completo de las intervenciones manuales mediante el empleo de máquinas (i.e. discos o barras de corte), como sucede en algunos cultivos, como en el olivo (Tombesi et al., 2012; Ottanelli et al., 2019), manzano (Mika et al., 2016), vid (Poni et al., 2016), entre otros. Todas estas alternativas lograron una reducción de costos y permitieron una mejora en la rentabilidad del productor, además de una mayor eficiencia y rapidez en la realización de las tareas mencionadas.

En la poda mecánica, más allá de la especie y la maquinaria empleada, una característica particular es que no se observa la selectividad del material a cortar, aspecto que sí se ve en la poda manual. La poda mecánica no discrimina tipo, tamaño ni calidad de brotes a cortar. En contraste, con la poda manual se pueden eliminar brindillas completas ya que en algunas especies y variedades la mayor densidad de botones florales se encuentra en la base de los brotes (Byers et al., 1990). Además, se pueden eliminar las brindillas mejor posicionadas en la estructura, ya que tienen mejor iluminación y posibilitan tener mayor tamaño de frutos (Bussi et al., 2011). La cualidad de no selectividad de la poda mecánica se visualiza por el tipo y cantidad de material que queda en la estructura del árbol (He y Schupp, 2018). Se deja un mayor número de yemas florales, que puede conducir a un incremento de la carga frutal por planta. Esto puede afectar el tamaño de los frutos o la acumulación de sólidos solubles (Siham et al., 2005), factores importantes según el destino de la producción (i.e. consumo en fresco o industria). A modo comparativo, la poda manual posibilita principalmente manejar la cantidad y calidad de brindillas completas por planta, mientras que la poda mecánica incide mayormente en la longitud total de brindillas por planta.

La mecanización de la poda en un monte frutal, requiere de plantas similares tanto en forma como en tamaño. Con árboles de tamaño desuniforme el resultado no será el buscado, pudiéndose generar material muy vigoroso no reproductivo (i.e. chupones) o zonas sin cobertura vegetal en las zonas de corte (Bussi et al., 2011; DeJong et al., 2012). En durazneros no se encontraron suficientes antecedentes científicos sobre el uso de poda mecánica de la copa y de su influencia en la producción y calidad de frutos, aunque si hay estudios en otros frutales. En manzano, Magdalena et al. (2015) evaluaron barras de corte donde no se alteró significativamente el número de frutos por árbol, el peso medio de frutos ni la producción, comparado con la poda manual. Respecto a la calidad de los frutos, se observó una menor firmeza y mayor degradación de almidón, indicando una cierta aceleración en la maduración de los mismos en plantas podadas mecánicamente en contraste con las podadas de forma manual. En olivo, Trentacoste et al. (2019) evaluaron máquinas de discos de corte en combinación con un manejo deficitario del riego para contener el tamaño de planta, logrando podar mecánicamente los olivos sin disminuir marcadamente la producción. En otro estudio realizado en mandarino (Martin-Górriz et al., 2014), luego de 3 años de poda mecánica, se observaron similitudes en el índice de madurez y en la calidad de fruta proveniente de plantas podadas mecánicamente y de forma manual. Además, con una intervención mecánica previa, lograron reducir el tiempo de repaso manual un 13 %. En los estudios mencionados anteriormente, los árboles estaban formados en seto, donde las copas forman una canopia continua en el sentido de la hilera de plantación, constituyendo una estructura óptima para realizar tareas mecanizadas como la poda y la cosecha. Los montes en seto generalmente están asociados al uso de alta densidad de plantación que permite reducir el tiempo necesario para que la canopia llene el espacio asignado a cada planta logrando así una mayor uniformidad. Su empleo se ha extendido a distintas especies frutales (Connor et al., 2014 en olivo; Dorigoni y Micheli, 2015 en manzano).

Con la poda, cualquiera sea la forma de realizarla (manual, mecánica o combinada), se busca cumplir con objetivos fisiológicos, técnicos, económicos y de calidad (Kumar et al., 2010; Zhang L. et al., 2018). La poda resulta fundamental para mantener la forma y el tamaño de planta acorde al sistema de conducción diseñado (Uberti et al., 2019), además de permitir una buena entrada y distribución de la radiación en toda la copa del árbol (He et al., 2008). En el caso de la poda mecánica es fundamental el conocimiento

de las dimensiones y la estructura óptima de las plantas. Algunos autores exponen que se debe lograr una relación entre el alto de la canopia y el ancho de calle libre (i.e. ancho entre hileras – ancho de copa) cercana a 1 (Connor y Gómez-del-Campo 2013; Trentacoste et al., 2017), para permitir una mejor incidencia de la radiación en las partes bajas de la copa y en su interior. Esto también mejora las condiciones de aireación y de penetración de las pulverizaciones con plaguicidas y fertilizantes foliares. En muchas ocasiones se procede con podas más severas para rejuvenecer la estructura del árbol o sacar una mayor cantidad de brotes por exceso de vigor (Mediene et al., 2002). Estas acciones que iluminan ciertas zonas del árbol, también tienen incidencia en aspectos productivos; permitiendo, por ejemplo, que los frutos alcancen un mayor contenido de sólidos solubles (He et al., 2008; Kumar et al., 2010) o que el color de los mismos sea el adecuado, sobre todo en aquellos frutos destinados al consumo en fresco (Lewallen y Marini 2003).

La poda también es importante para determinar la carga frutal. Se poda para reducir el número de brindillas, disminuir la cantidad de yemas reproductivas y, por ende, tener menor número de frutos potenciales por árbol (Marini y Sherif, 2020a y 2020b). Esto apunta a mejorar la relación entre las fuentes de fotoasimilados y los sumideros que los demandan (Fischer et al., 2012; Lopresti et al., 2014). Al eliminar determinada cantidad de yemas florales, se posibilita que las yemas remanentes desarrollen de manera óptima (Ryan et al., 2018). Casierra-Posada et al. (2007), en duraznero cv. Rubidoux, determinaron que los frutos alcanzaron un mayor diámetro y un mayor contenido de sólidos solubles a medida que se dejó un mayor número de hojas por fruto, entre 20 y 50 hojas por fruto. Esto también lo observaron respecto al total de frutos por árbol, donde aquellas plantas no raleadas o raleadas con menor intensidad tuvieron diámetros más pequeños (por debajo de 55 mm) y aquellos árboles con menor cantidad de frutos tuvieron diámetros por encima de 65 mm.

El momento de poda tiene una alta incidencia sobre la respuesta vegetativa y reproductiva del cultivo. El receso invernal es el momento de intervención más usual en frutales de carozo, así como en otras especies, y una de las razones es que se dispone una mayor ventana de tiempo para realizarla. Además, en frutales de hoja caduca se puede observar mejor la estructura de árbol y así mantener la planta ajustada al sistema de conducción. Marini y Sherif (2020a; 2020b) expusieron que, en la zona del corte, la

poda invernal estimula el crecimiento de brotes. Estos brotes serán más o menos vigorosos según la intensidad de la poda y del manejo posterior del monte frutal (i.e. fertilización, riego, etc.). Bussi et al., (2011) observaron que al aumentar la intensidad de la poda invernal los chupones crecían en mayor número y a su vez eran más largos. Para contrarrestar estas situaciones de alto vigor se recurre a manejos de “poda en verde” de la canopia (i.e. primavera-verano cuando las plantas se encuentra en actividad vegetativa y/o reproductiva). Intervenciones de poda en momentos de activo crecimiento vegetativo y/o reproductivo permiten reducir el volumen de planta y, en la medida que se retrasan más en la temporada, evitan generar un rebrote muy excesivo (Ikinci et al., 2014). También se logra una mejor penetración de la radiación hacia las partes internas de la canopia con efectos positivos sobre yemas y/o frutos. Luego de podado en verde, el árbol posee una menor área foliar y por ello, una menor disponibilidad y movilidad en poscosecha de sustancias de reserva hacia las estructuras perennes, como tronco, ramas y raíces. La menor disponibilidad de sustancias de reserva para el ciclo subsiguiente se manifiesta en un menor crecimiento vegetativo, menor número de flores en la temporada posterior (Peavey et al., 2020) y en una mayor competencia entre destinos como frutos y brotes en activo crecimiento. La desvigorización asociada a la poda en verde también se puede manifestar en el diámetro del tronco, aquellas plantas podadas en verano crecen menos que las podadas durante el receso vegetativo (Ikinci et al., 2014). En cítricos, las intervenciones de poda en la parte superior de las plantas (i.e. topping) suelen hacerse en primavera o en poscosecha para mantener la forma de los árboles y contener el vigor vegetativo (Wheaton et al., 1995). En especies de hoja caduca el espacio de tiempo para intervenciones de canopia en verde, respecto de la poda en receso vegetativo, es más acotado y por ello requiere de mayor rapidez y precisión al momento de realizarlas. Estos manejos en verde dependen mucho del destino de la producción, periodos de crecimiento, maduración de la fruta (variedades tempranas, medias o tardías), duración del periodo poscosecha (tiempo entre la recolección y la caída de hojas), entre otras características.

Por lo expuesto, es necesario ajustar podas mecánicas en frutales para bajar el costo de dicha labor y según la finalidad buscada será el momento del ciclo en el que intervenir. Entre las finalidades buscadas con la poda, se incluyen la reducción del número de yemas por árbol, ajuste de la relación entre el alto y el ancho de copa y

otrogarle forma a las plantas para que se adapten a la maquinaria de cosecha. El momento se puede dividir en dos grandes grupos: las intervenciones en receso vegetativo que van a promover la expresión vegetativa, y las intervenciones en verde que van a restringir el vigor de vegetativo, con efectos en la temporada en curso y en la siguiente. En la actualidad la poda mecánica en duraznero ha sido escasamente desarrollada e investigada, sin embargo, existe una excelente oportunidad a partir de los estudios realizados en otras especies.

En base a los antecedentes enunciados, el **objetivo** de este capítulo fue comparar el efecto del momento de poda mecánica sobre la arquitectura de planta, la producción y la calidad de frutos en duraznero cv. Pavie Catherine, en el departamento de Luján de Cuyo, provincia de Mendoza. Partiendo del objetivo planteado se enunciaron las siguientes **hipótesis** de trabajo:

**H1:** *Plantas podadas mecánicamente en invierno tendrán mayor cantidad de cortes, respecto a la poda manual, lo que propiciará el crecimiento de un mayor número de brotes de menor longitud. Además, se podrá contener mejor la relación entre el alto de la copa y el ancho de calle libre (A/CL).*

**H2:** *La poda mecánica invernal al dejar un mayor número de yemas por planta aumentará el número de frutos a cosecha, respecto de plantas podadas manualmente en invierno. Las características industriales de frutos cosechados de plantas podadas mecánicamente determinarán una calidad industrial inferior (menor peso y diámetro, menor contenido de sólidos solubles, menor firmeza, menor color de cobertura y menor humedad de fruto) respecto de los provenientes de plantas podadas manualmente.*

**H3:** *La poda mecánica realizada en momentos de activo crecimiento, como en preraleo y en poscosecha, respecto a la realizada en reposo invernal, disminuirá el vigor de la brotación (i.e. brotes más cortos con menos yemas) y el desarrollo reproductivo (i.e. menor cantidad de flores) en la temporada siguiente. Esto será debido a que se extraerá una mayor proporción de área foliar y madera con los restos de poda, variando la relación entre fuentes y destinos. El momento de poda mecánica no modificará el número de yemas por planta y en consecuencia el tamaño de los frutos. En tanto que su calidad industrial será similar, independientemente del momento de intervención.*

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio experimental

El experimento se desarrolló durante los años 2017, 2018 y 2019 en una finca comercial de duraznero para industria, ubicada en Agrelo, Luján de Cuyo, provincia de Mendoza (Lat. 33° 10' S, Long. 68° 57' O; 940 m.s.n.m). La parcela experimental fue seleccionada dentro de un monte implantado en el año 2013 con el cultivar Pavie Catherine, de maduración muy temprana (entre fines de diciembre y principios de enero) injertado sobre el patrón Nemared. El marco de plantación es de 4 m entre hileras y 2 m entre plantas (1250 árboles ha<sup>-1</sup>), con hileras orientadas en dirección nortesur. El sistema de conducción fue una ípsilon, con ambos brazos ubicados en el sentido de la hilera.

El suelo es franco-arenoso, de origen aluvial, con presencia de piedra (>10 %), según análisis de fertilidad tiene un contenido NPK inicial de 565 ppm, 26 ppm y 300 ppm, respectivamente. El clima de la región es árido con 230 mm anuales de precipitación, concentrados en los meses de verano y una temperatura media anual de 15 °C. La parcela fue regada con dos líneas de goteo por hilera con emisores de 2 L h<sup>-1</sup> espaciados cada 50 cm. El manejo cultural en cuanto a aplicación de agroquímicos, control de malezas, entre otras tareas fue realizada por el productor del mismo modo que en el resto de la propiedad, con la finalidad de mantener una alta sanidad de la copa y los frutos, el suelo libre de malezas en la hilera de plantación y desbrozado en el interfilar.



**Imagen 3.** Seto en ípsilon duraznero de industria, cv Pavie Catherine (Foto: F.J. Calderón)

## **2.2. Tratamientos de poda y diseño experimental**

Cuatro tratamientos de poda fueron evaluados: manual en receso vegetativo (HW), mecánica en receso vegetativo (MW), mecánica en pre raleo (MR) y mecánica en pos cosecha (MC). En el año 2017 todas las plantas fueron podadas manualmente en invierno para uniformar la parcela experimental, ya que la temporada anterior (invierno 2016) no había tenido ninguna intervención por cuestiones de la empresa. Las fechas de intervención con los tratamientos específicos fueron en 2018: 19 de enero para MC, 11 de julio para HW y MW, 26 de octubre para MR; en 2019: 22 de enero para MC, 3 de julio para HW y MW, 18 de octubre para MR (ver Cuadro 1 en Anexo).

La poda mecánica se aplicó fijando una misma intensidad de poda lateral en todos los tratamientos, siendo del 30 % en 2018 y del 50 % en 2019. En este estudio, la “intensidad de poda” fue considerada como el ancho seto podado o extraído respecto al ancho total del seto medido previo a la poda. Para ello, antes de la poda se midió el ancho de copa en sentido E-O (i.e. ancho seto prepoda) de cada unidad experimental (UE), y luego se calculó el ancho a extraer con la poda lateral en cada uno de los lados del seto. Las podas mecánicas se realizaron con una cortacerco con motor a explosión (marca Stihl, modelo HS-45). Para podar con precisión el ancho de seto a extraer, se colocaron dos jalones trazando una línea imaginaria por donde se cortó lateralmente la

copa. De esta manera todas las unidades experimentales recibieron la misma intensidad de poda, variando el momento de realización de la misma, según el tratamiento. En cuanto al topping, se cortó todo lo excedente a los 2,80 m de altura. En el año 2019 se decidió incrementar la intensidad de poda para mantener una relación alto/ancho de calle libre (ver sección 2.3.1) similar al año 2018. La poda manual fue realizada de la misma manera que la llevada a cabo por el productor en el resto de la propiedad, con herramientas manuales. El criterio para la poda manual fue dejar brindillas completas (i.e. poda larga) bien iluminadas, del año y con buena densidad de yemas florales; se sacaron chupones, brotes secos y/o quebrados. En todos los tratamientos se cortaron las ramas que tocaban en piso, para evitar el contacto con herbicidas.

## **2.3. Evaluación del crecimiento vegetativo**

### **2.3.1. Dimensiones de seto**

Las dimensiones del seto se caracterizaron por mediciones del ancho de copa, altura de planta (desde el suelo) y despeje (desde el suelo a la primera capa de hojas). Estas mediciones se realizaron en las 2 plantas centrales de la UE. El ancho de planta (sentido E-O, perpendicular a la hilera) se midió en dos posiciones de altura desde el suelo (a 1,0 m y a 1,6 m) entre ambos brazos. Se obtuvo un valor por repetición. La altura de planta y el despeje fueron medidos con regla ubicada en el centro de la planta. Se tomó el brote más bajo para el despeje y el ápice del último brote para la altura de planta. Los valores se promediaron para obtener un solo valor de ancho, altura y despeje por UE. En todos los tratamientos los momentos de medición de dimensiones fueron inmediatamente antes de la poda, luego de la poda y en cosecha.

Con los datos de dimensiones se calculó el volumen de canopia, asumiendo al seto con forma geométrica de un paralelepípedo, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de seto (m}^3\text{)} = (\text{altura} - \text{despeje}) \times \text{ancho} \times \text{distancia entre plantas}$$

Con los datos de ancho de seto, alto de canopia y la distancia entre hileras, se calculó también la relación entre altura de seto y ancho de calle libre (A/CL):

$$\text{Relación A/CL} = \frac{(\text{Altura de seto} - \text{Despeje})}{(\text{Distancia entre hileras} - \text{Ancho de seto})}$$

En el caso particular del tratamiento MC, la medición de las dimensiones y el cálculo del volumen y la relación A/CL en el momento de cosecha fue realizado antes de podar las plantas, es decir, antes de intervenir las plantas de este tratamiento en particular.

### **2.3.2. Restos de poda**

Luego de realizadas las distintas intervenciones, los restos de poda de las dos plantas de medición fueron recolectados y secados en estufa a 60 °C hasta peso constante, para luego expresarlos en peso seco. En los tratamientos donde había presencia de hojas (MR y MC), las mismas se secaron y pesaron separadamente de ramas y brindillas. En el caso particular de la poda mecánica pos raleo (MR) los frutos fueron separados y su peso no fue considerado en la suma total de los restos de poda.

### **2.3.3. Área foliar y densidad foliar**

El día posterior a la cosecha, se colocó un cubo de aristas metálicas (de dimensiones 20 x 20 x 20 cm = 8000 cm<sup>3</sup>) en 6 posiciones de la canopia (3 en cada cara y a 3 alturas) y se extrajo todo el material incluido en su interior (i.e. hojas y brindillas). En el tratamiento de poda mecánica en poscosecha (MC), el muestreo se realizó previo a la aplicación de la poda mecánica. En laboratorio se separaron las hojas de cada muestra, se pusieron sobre un plano color blanco, se fotografiaron y analizaron con el software CobCal® (v 2.1, Ferrari et al., 2006). para obtener el área foliar (AF) por cubo. Luego el AF a nivel de planta entera se estimó como: (volumen copa por planta x AF promedio por cubo) / volumen cubo. El valor obtenido se expresó en m<sup>2</sup> de AF total por planta. Además, se calculó la densidad foliar, es decir, el AF por m<sup>3</sup> de copa.

### **2.3.4. Longitud total de brindillas**

A principios de septiembre (antes de plena floración), en 2018 y 2019, se midió en todos los tratamientos, sobre la planta norte de cada repetición, la longitud total de brotes potencialmente productivos (i.e. con al menos una yema floral). Para ello, con cinta métrica se midió el largo de todas las brindillas en el brazo norte y luego se multiplicó por dos para obtener el largo total de brindillas por planta (LTB) en metros. Los brotes secos, chupones y brotes de más de 2 años no fueron considerados en la medición. En el tratamiento de poda preraleo (MR), la medición del LTB se realizó solamente sobre el ancho de seto que no iba a ser podado, es decir, se tomaron en consideración aquellos brotes y ramas de la copa que estaban dentro del seto no podado.

### **2.3.5. Área de sección transversal de tronco**

En receso vegetativo, se midió el perímetro del tronco principal (P) a 20 cm sobre el nivel del suelo, durante los tres años de estudio. Se promediaron los valores de ambas plantas de cada repetición. Luego se obtuvo el área de sección transversal de tronco (ASTT) de cada repetición, mediante la siguiente fórmula:

$$ASTT \text{ (cm}^2\text{)} = P^2 \cdot (4\pi)^{-1}$$

### **2.4. Desarrollo reproductivo**

Al inicio de la floración (mediados de septiembre en 2018 y 2019, se marcaron en la planta norte de cada repetición 10 brotes de un año (i.e. brindillas), distribuidos aleatoriamente en distintas posiciones de la canopia, tanto en altura como en profundidad. Se midió el largo de los mismos, antes de la apertura total de los botones florales y se obtuvo el largo medio de brotes reproductivos.

En la segunda semana de septiembre, en 2018 y 2019, en estadio 65 BBCH (Lisandru et al., 2017) se contó la cantidad de flores en las brindillas marcadas. Por medio del cociente (# flores promedio por brindilla / largo medio de brindilla) se obtuvo la densidad floral, expresada como número de flores por metro lineal de brindilla.

En la segunda y tercera semana de octubre, en 2018 y 2019, respectivamente, se contó la cantidad de frutos cuajados por brindilla marcada y se obtuvo la densidad frutal pre raleo con el cociente (# frutos promedio por brindilla / largo medio de brindilla), expresada como número de frutos por metro lineal de brindilla. El porcentaje de cuaje fue calculado como  $[(\# \text{ de frutos por brindilla} / \# \text{ de flores por brote}) \times 100]$  y se expresó en porcentaje.

El raleo de frutos se llevó a cabo el 30 de octubre, en 2017 y 2018, y el 8 de noviembre, en 2019. Se realizó en todos los tratamientos siguiendo el mismo criterio de un puño de distancia entre frutos y no más de tres frutos por brindilla. Luego de realizado el raleo, se volvió a contar el número de frutos en las brindillas marcadas para luego estimar la densidad frutal pos raleo por metro de brindilla, empleando la fórmula (# frutos promedio por brindilla posraleo / largo medio de brindilla). Se calculó el número de “frutos potenciales” al multiplicar la densidad frutal previo al raleo por el LTB por planta. La variable “frutos potenciales” se expresó como número total de frutos por planta.

## **2.5. Producción**

En los tres años de estudio, la cosecha de los frutos se realizó en dos pasadas con el objeto de recolectar fruta industrializable de acuerdo a los parámetros pactados entre el productor y la fábrica receptora. Las fechas de cosecha fueron en la temporada 2017/18, los días 3 y 12 de enero de 2018; en la temporada 2018/19, los días 28 de diciembre de 2018 y 3 de enero de 2019 y en la temporada 2019/20, los días 30 de diciembre de 2019 y 7 de enero de 2020. En las tres temporadas, se pesaron y se contaron a campo todos los frutos cosechados. El conteo y pesado de frutos se hizo en ambas plantas de la UE y luego se promediaron los valores para obtener un valor por repetición. El peso medio del fruto fue calculado por el cociente entre la producción y número de frutos contados en cada UE. Se extrajo una muestra compuesta de 20 frutos de cada repetición y se llevó a laboratorio para realizar los análisis de calidad industrial.

## **2.6. Calidad industrial**

### 2.6.1. Humedad de fruto

Cinco frutos se pesaron en fresco (PF) y expresaron en gramos. Luego se llevaron a estufa a 65°C, hasta peso constante. Se pesaron nuevamente y obtuvo el peso seco (PS) en gramos. La humedad de fruto (en %) fue determinada según la fórmula:

$$\text{Humedad de fruto (\%)} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PF}} \cdot 100$$

### 2.6.2. Color de cobertura

En 10 frutos se midió con colorímetro (Chromameter CR-400, marca Konica Minolta) el color de superficie o cobertura. Se obtuvieron los valores de L\*, a\*, b\*. Luego por cálculo se obtuvo el matiz ("hue angle", en inglés) expresado en grados sexagesimales (°), con la fórmula:

$$\text{Matiz (}^\circ\text{)} = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

### 2.6.3. Diámetro de fruto

En 10 frutos se midieron los diámetros sutural y contrasutural, a la altura ecuatorial del fruto, con calibre digital. Se obtuvo posteriormente el promedio entre ambos valores y se denominó "diámetro de fruto", en mm.

### 2.6.4. Firmeza de pulpa

Con penetrómetro de émbolo se midió la presión (en lb cm<sup>-2</sup>). Para ello, se tomaron 10 frutos y en dos caras opuestas de cada uno se midió la presión de fruto. Se promediaron ambos valores y se obtuvo la firmeza media de pulpa.

### 2.6.5. Contenido de sólidos solubles

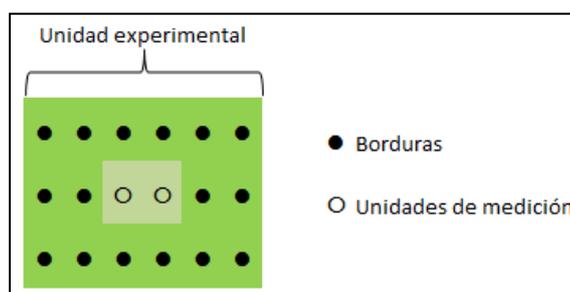
En una muestra de 10 frutos se extrajeron de cada uno dos porciones de pulpa con navaja y se trituraron todos juntos con mixer (hasta quedar como pulpa homogénea). Luego se tomó una muestra para leer con refractómetro y se obtuvo el valor en ° Brix.

### 2.7. Eficiencia productiva y relación fuente/destino

Por medio de cálculo se obtuvieron la eficiencia productiva (EP) y la relación entre fuentes y destinos (Relación F/D). La EP se obtuvo como el cociente entre el rendimiento por planta y el ASTT de cada planta; la unidad fue kg de fruta por cm<sup>2</sup> de ASTT. La segunda variable, Relación F/D, se calculó dividiendo el área foliar total por planta y el número frutos cosechados. La unidad de dicha variable fue m<sup>2</sup> de AF por cada 100 frutos cosechados.

### 2.8. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques completamente aleatorizados, con cinco repeticiones por tratamiento. Cada UE constó de tres hileras con 6 plantas cada una, donde las dos plantas centrales de la hilera central fueron utilizadas como unidades de medición y el resto como borduras. El factor de bloqueo fue el área de sección transversal de tronco (ASTT), medida en junio de 2017 en todos los árboles incluidos en las hileras de la parcela experimental, cada una con 73 árboles.



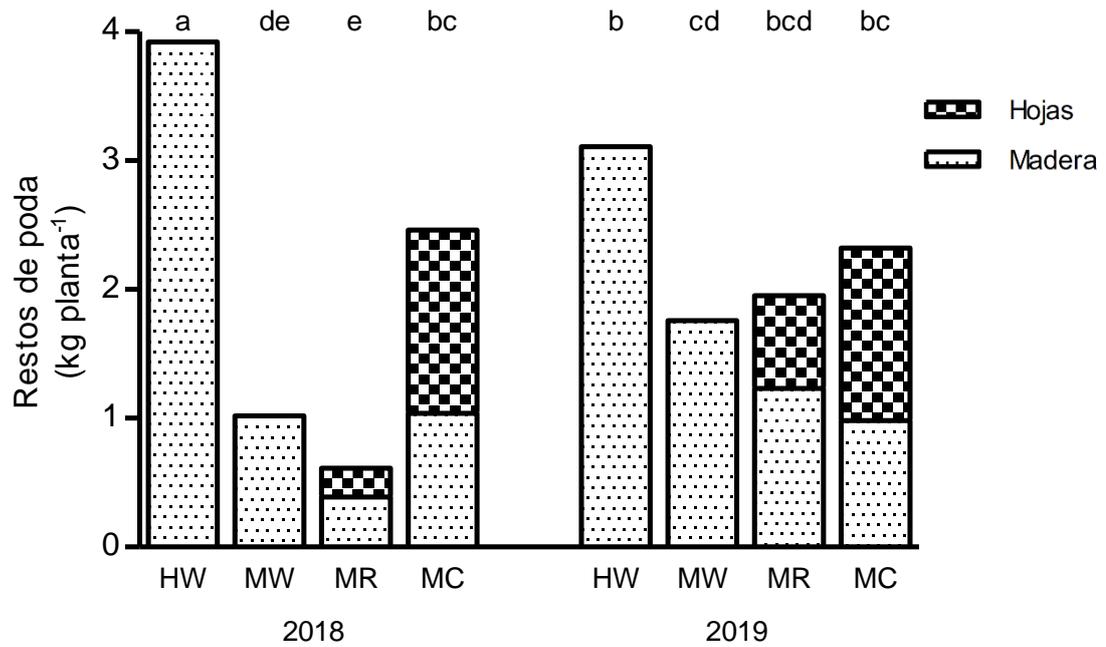
Los datos fueron sometidos a un ANOVA de dos factores (Poda y Año) y su interacción. Se empleó el software InfoStat (versión 2020, Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). La comparación de medias

en todas las variables fue realizada por medio del test LSD de Fisher para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . La asociación entre la densidad foliar y las variables matiz, peso y diámetro de fruto fueron analizadas por regresión lineal-plateau con el software GraphPad Prism versión 5.01 (San Diego, CA). Los datos de las variables de calidad industrial fueron los promedios ponderados, por el número de frutos de ambas pasadas.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Restos de poda**

Los restos de poda presentaron una interacción poda por año significativa, por eso solamente se presentan los resultados de la interacción y no de los efectos simples. En las podas mecánicas en preraleo y poscosecha los restos de poda incluyeron hojas, las que representaron el 37 % y 58 % del peso total, respectivamente. Las diferencias entre los árboles podados manual y mecánicamente fueron más evidentes en 2018 cuando todos los tratamientos podados mecánicamente, en los tres momentos estudiados (MW=1,0; MR= 0,6 y MC= 2,5 kg planta<sup>-1</sup>), presentaron menor peso que la poda manual (HW = 3,9 kg planta<sup>-1</sup>). En 2019, sin embargo, el peso de poda en los tratamientos HW, MC y MR no fue diferente entre ellos, y HW fue significativamente más alto que MW. Los tratamientos presentaron diferente comportamiento entre años; en HW los restos de poda disminuyeron significativamente desde el 2018 al 2019, en MW y MC los restos de poda extraídos entre años fueron similares. En contraste, en MR el peso de poda incrementó significativamente, pasando de 0,6 kg en 2018 a 1,9 kg planta<sup>-1</sup> en 2019.



**Figura 3.1.** Restos de poda, promedio en peso seco, extraídos de plantas de duraznero cv Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y pos cosecha (MW, MR, MC, respectivamente) en 2018 y 2019. En la poda realizada en pre raleo (MR), los frutos se separaron de los restos y no se pesaron. Letras iguales indican medias que no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ .

### **3.2. Crecimiento vegetativo**

El incremento anual del ASTT medida previo a la poda fue no significativa para los efectos simples de poda y año, tampoco fue significativa para la interacción. El incremento anual de ASTT fue de  $10,7 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , en promedio (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1.** Variables vegetativas respuesta en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los años 2018 y 2019. En el año 2017 todas las plantas fueron podadas manualmente en invierno (julio), para unificar la condición inicial de toda la parcela. Se coloca la línea del año 2017 en la interacción sólo a modo comparativo, ya que no se tomó en cuenta para el ANOVA del efecto Poda ni en la interacción. Solamente se hizo ANOVA con el año 2017 para el factor simple Año (A).

Poda	Año	Incremento anual del ASTT (cm <sup>2</sup> )	Volumen de seto (m <sup>3</sup> planta <sup>-1</sup> )			AF (m <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	Relación A/CL		
			Pre poda	Pos poda	Cosecha		Pre poda	Pos poda	Cosecha
HW	2017	-	-	-	8,59	-	-	-	1,14
MW		-	-	-	9,08	-	-	-	1,24
MR		-	-	-	9,49	-	-	-	1,27
MC		-	-	-	9,11	-	-	-	1,20
HW	2018	10,6	10,11 b	5,35 bc	8,38	179,0 ab	1,37 b	0,94 a	1,29
MW		15,6	13,29 a	5,77 ab	9,21	151,8 b	1,29 b	0,93 ab	1,31
MR		12,4	4,95 c	4,59 cd	8,61	188,3 a	0,92 c	0,90 b	1,28
MC		10,2	10,67 b	6,43 a	8,32	72,0 cd	1,68 a	0,93 ab	1,18
HW	2019	13,1	8,81 b	3,98 de	8,42	100,7 c	1,18 b	0,70 d	1,27
MW		7,8	9,11 b	3,34 e	7,83	80,5 cd	1,35 b	0,86 bc	1,21
MR		8,7	10,08 b	3,40 e	6,49	61,8 d	1,39 b	0,72 d	1,09
MC		7,3	8,32 b	3,24 e	5,95	54,9 d	1,32b	0,78 cd	1,03
Poda	HW	11,8	9,46 a	4,67	8,40	139,9 a	1,28 b	0,85 ab	1,28
	MW	11,8	11,20 a	4,55	8,52	116,1 b	1,32 ab	0,90 a	1,26
	MR	10,6	7,51 b	3,99	7,55	125,0 a	1,16 b	0,81 b	1,19
	MC	8,7	9,49 a	4,83	7,14	63,5 b	1,50 a	0,85 ab	1,11
Año	2017	-	-	-	9,07 a	-	-	-	1,21
	2018	12,2	9,75	5,53 a	8,63 a	147,8 a	1,32	0,94 a	1,26
	2019	9,2	9,08	3,49 b	7,17 b	74,5 b	1,31	0,77 b	1,15
<b>Poda (P)</b>		0,5024	0,0029	0,0624	0,1769	<0,0001	0,0056	0,378	0,0590
<b>Año (A)</b>	<b>p-valor</b>	0,0741	0,2929	<0,0001	0,0070	<0,0001	0,9437	<0,0001	0,0534
<b>P x A</b>		0,1796	0,0001	0,0108	0,3465	0,0008	0,0003	0,0090	0,5838

ASTT: área de sección transversal de tronco; A/CL: relación de dimensiones Altura copa/Ancho calle libre; AF: área foliar; Medias seguidas de una letra igual, en una misma columna, no son significativamente diferentes (test LSD Fisher para un  $P \leq 0,05$ ). Letras sólo son presentadas cuando ANOVA indicó efecto significativo.

El volumen de los setos medido previo y posterior a la poda respondió significativamente a la interacción poda x año, en el caso del volumen de seto en cosecha no fue significativo para la interacción (Tabla 3.1). El tratamiento HW mantuvo similar volumen de seto prepoda en ambos años de estudio. En contraste, en MW y MC el volumen del seto previo a la poda, disminuyó 4,18 m<sup>3</sup> y 2,35 m<sup>3</sup>, respectivamente entre el 2018 y el 2019. MR fue el único tratamiento que presentó un aumento significativo del volumen de copa previo a la poda, con un incremento de 5,13 m<sup>3</sup> entre el 2018 y 2019. Las diferencias entre tratamientos fueron más evidentes en el 2018 cuando el volumen de los setos previo a la poda fue más alto en MW, intermedio en MC y HW y más bajo en MR, mientras en 2019 sólo MR presentó volumen de seto superior a MC, y similar al resto de tratamientos. Respecto del volumen de los setos luego de la poda, en 2018 el tratamiento MC (6,43 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>) presentó mayor volumen que HW y MW (5,56 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>, en promedio) y también que MR (4,59 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>), siendo éste el tratamiento de menor volumen de copa pospoda. En 2019 no se presentaron diferencias entre tratamientos (3,49 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>, en promedio). La reducción en un 58 % del volumen pospoda entre un año y otro se debió a que, como se explicó en materiales y métodos, se sigue la premisa de una relación A/CL cercana a 0,8; como los setos crecieron más de 2018 a 2019, entonces en 2019 hubo que podar más y por eso “mayor intensidad”. Al momento de las cosechas 2018 y 2019 el volumen de copa fue no significativamente diferente entre tratamientos (Tabla 3.1).

El área foliar por planta (AF) medido luego de la cosecha presentó efecto significativo para la interacción poda x año (Tabla 3.1). En 2018 los valores de AF de los tratamientos MW y MR (promedio 170 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) no se diferenciaron de HW (179 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>), mientras que en MC el AF (72 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) fue significativamente inferior que en HW. En 2019 los tres tratamientos con poda mecánica presentaron similar AF entre ellos (promedio 65,7 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) e inferior a la poda manual (100,7 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>), aunque sólo MC y MR fueron significativamente diferentes. El AF disminuyó en todos los tratamientos en 2019, excepto en MC donde el AF fue el más bajo y estable en ambos años. En resumen, los setos HW, MW y MR tuvieron al momento de cosecha un AF más alto y sin diferencias entre sí (127 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, en promedio) y en MC el AF fue más bajo con 63,5 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>.

### 3.3. Relación A/CL

La relación de dimensiones entre el alto de copa y el ancho de calle libre (A/CL) fue determinada en tres momentos (previa y posteriormente a la poda y en cosecha). Se observó efecto significativo de la interacción poda x año para antes y después de la poda y no significativa la interacción en cosecha (Tabla 3.1). En 2018, la relación A/CL previo a la poda fue más alta en los setos MC (1,68), intermedia en HW y MW (1,33) y más bajo en MR (0,92). En 2019, no hubo diferencias entre tratamientos y la relación A/CL promedio fue de 1,31. Entre un año y otro, los tratamientos con poda HW y MW mantuvieron similar relación A/CL, y disminuyó en MC e incrementó en MR al segundo año de estudio. Luego de la poda 2018, donde todos los setos fueron podados con una intensidad del 30 %, el tratamiento HW presentó relación A/CL más alta que MR, e intermedia y sin diferencias en los tratamientos MC y MW. Al siguiente año, todos los setos fueron podados con una intensidad mayor (50 %) para asegurar buena iluminación en todas las posiciones de la copa, MW mantuvo la relación A/CL similar a la del 2018 (0,89 en promedio ambos años) y fue más alta que en los tratamientos HW y MR (0,71, en promedio, con respecto a MC no se diferenció (Tabla 3.1). Entre tratamientos, los dos más contrastantes fueron MW y MR con 0,90 y 0,81 respectivamente. Intermedios y sin diferencias entre sí se ubicaron HW y MC (promedio de 0,85). En cosecha la relación A/CL no presentó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos de poda, como tampoco entre años (Tabla 3.1), siendo el promedio de 1,21.

### 3.4. Desarrollo reproductivo

El largo total de brindillas por planta (LTB) y el largo medio de brindillas mostraron efecto significativo para la interacción poda x año (Tabla 3.2). En 2018, el LTB fue significativamente diferente entre tratamientos, siendo más alto en MC (135,9 m planta<sup>-1</sup>), seguido de MW y HW (92,3 y 61,4 m planta<sup>-1</sup>, respectivamente). MR tuvo el valor más bajo, con 36,4 m planta<sup>-1</sup>. En contraste en 2019, los setos podados en preraleo (MR) tuvieron el LTB más alto (110,0 m planta<sup>-1</sup>), intermedio en los setos con poda mecánica en poscosecha (MC) e invierno (MW) (promedio 42,9 m planta<sup>-1</sup>) y los setos podados manualmente en invierno (HW) tuvieron el valor más bajo (22,7 m planta<sup>-1</sup>). El largo

medio de brindillas no fue afectado por los tratamientos de poda en 2018 (promedio 39,1 cm); en 2019, las plantas podadas HW y MR tuvieron brindillas más largas (promedio 25,5 cm) que MW y MC (promedio 10,8 cm) (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2.** Componentes del rendimiento medidos en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los 2018 y 2019.

Poda	Año	LTB (m planta <sup>-1</sup> )	Largo medio de brindilla (cm)	Cuaje (%)	Densidad			Frutos potenciales (# planta <sup>-1</sup> )
					Floral (flores m <sup>-1</sup> )	Frutal (frutos m <sup>-1</sup> )	Frutal - pos raleo (frutos m <sup>-1</sup> )	
HW	2018	61,4 c	39,9 a	84,1	56 bc	46 a	5 cd	2848 c
MW		92,3 b	36,7 a	84,3	52 bc	43 a	3 d	4022 b
MR		36,4 de	40,7 a	86,6	47 c	40 a	7 c	1473 d
MC		135,9 a	39,0 a	81,9	53 bc	44 a	3 d	5954 a
HW	2019	22,7 e	22,8 b	36,3	60 bc	15 b	6 cd	340 e
MW		36,7 de	10,9 c	40,6	103 a	41 a	14 b	1618 d
MR		110,0 b	28,3 b	68,3	51 c	24 b	4 cd	2657 c
MC		49,1 cd	10,7 c	51,5	73 b	38 a	18 a	1963 cd
Poda	HW	42,0 c	31,3 a	60,2	58 b	30 b	5 b	1594 c
	MW	64,5 b	23,8 b	62,4	77 a	42 a	8 a	2820 b
	MR	73,2 b	34,5 a	77,4	49 b	32 b	6 b	2065 c
	MC	92,5 a	24,9 b	66,7	63 ab	41 a	10 a	3958 a
Año	2018	81,5	39,1	84,2	52	43	4	3574
	2019	54,6	18,2	49,2	72	29	10	1644
<b>Poda (P)</b>		<0,0001	<0,0001	0,2881	0,0051	0,0056	0,0004	<0,0001
<b>Año (A)</b>	<b>p-valor</b>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0007	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>P x A</b>		<0,0001	0,0022	0,4007	0,0120	0,0027	<0,0001	<0,0001

LTB: Largo total de brindillas. Medias seguidas de una letra igual, en una misma columna, no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ . Letras sólo son presentadas cuando ANOVA indicó efecto significativo.

La densidad de flores mostró efecto significativo para la interacción poda x año (Tabla 3.2) debido a que, si bien en 2018 no hubo diferencias entre tratamientos (promedio 44 flores m lineal de brindilla<sup>-1</sup>), en 2019 sí hubo diferencias. La poda MW presentó densidad de 103 flores m<sup>-1</sup> significativamente más alta que lo observado en los tratamientos MC, HW y MR, con densidades de 73, 60 y 51 flores m<sup>-1</sup>, respectivamente. El número de frutos por metro lineal de brindilla, previo al raleo (Tabla 3.2), presentó un patrón similar al de la densidad floral. En 2018 el número de frutos por metro brindilla no fue afectado por los tratamientos de poda (43 frutos m<sup>-1</sup>, en promedio). En 2019 los tratamientos MW y MC (40 frutos m<sup>-1</sup>, en promedio) fueron notablemente más altos que HW y MR (20 frutos m<sup>-1</sup>, en promedio).

El porcentaje de cuaje no fue significativamente afectado por los tratamientos de poda (66,7 %, en promedio). Se observó una variación entre años, en el 2019 el porcentaje de cuaje disminuyó alrededor de un 40 % respecto al 2018 (Tabla 3.2). El raleo de frutos fue realizado manualmente con el mismo criterio para todos los tratamientos. La densidad de frutos remanentes luego del raleo siguió un patrón similar a la densidad de flores y frutos contados previo al raleo, debido a que el raleo fue realizado manualmente con el mismo criterio para todos los tratamientos. En 2018 hubo escasas diferencias entre tratamientos, HW tuvo 5 frutos m<sup>-1</sup>, sin diferenciarse de este tratamiento las otras tres podas mecánicas. Si se diferenciaron las podas mecánicas entre sí en 2018: MR quedó con 7 frutos m<sup>-1</sup> y por debajo se ubicaron MW y MC con 3 frutos m<sup>-1</sup>. En 2019 los setos con poda MW y MC quedaron con 3 veces más frutos por metro de brindilla que HW y MR (16 y 5 frutos m<sup>-1</sup>, respectivamente). Resulta interesante destacar que el número frutos por metro de brindilla dejados luego del raleo fue similar entre años en HW y MR, e incrementó marcadamente entre años en MW y MC.

En la Tabla 3.2 se presenta el valor de la capacidad potencial frutos por planta. En la interacción poda x año, se observa que en 2018 se escalonaron los tratamientos de poda con diferencias significativas entre sí (MC = 5954, MW = 4022, HW = 2848 y MR = 1473). En 2019, el tratamiento HW tuvo la menor potencialidad frutal (340 frutos planta<sup>-1</sup>) y MR el mayor valor (2657 frutos planta<sup>-1</sup>). Intermedios se ubicaron las plantas con poda MW y MC con 1790 frutos planta<sup>-1</sup>, en promedio. Esta variable de la capacidad potencial de frutos se calculó dentro del ancho de seto objetivo pospoda.

### 3.5. Rendimiento y sus componentes

La producción, número de frutos y peso medio del fruto presentaron efecto significativo en la interacción poda x año (Tabla 3.3). Al inicio del experimento, en 2017, la producción, el número de frutos y el peso individual de fruto promedio, fue de 20,4 kg planta<sup>-1</sup>, 170 frutos planta<sup>-1</sup> y 121,6 g fruto<sup>-1</sup>, respectivamente, sin diferencias entre tratamientos. En 2018, HW, MW y MC presentaron similar producción (32 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio) y significativamente más alta que en MR que tuvo 20,3 kg planta<sup>-1</sup>. En 2019, el tratamiento MC tuvo una producción significativamente más alta que el resto de tratamientos (34 kg planta<sup>-1</sup>). Los otros tres tratamientos fueron menores a MC y no tuvieron diferencias entre ellos (21,8 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio). A partir de la cosecha 2018, en ambos tratamientos de invierno (manual y mecánica) se redujo la producción hacia 2019, mientras la poda en preraleo y poscosecha mantuvieron similar su producción en 2018 y 2019 (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3.** Producción, cantidad de frutos por planta, peso medio del fruto, porcentaje de fruta cosechada en la pasada principal y eficiencia productiva (EP) en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas, manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) en 2018 y 2019. En 2017 no se aplicaron los tratamientos y todas las plantas recibieron una poda manual, para unificar la condición inicial de toda la parcela. Se coloca la línea del año 2017 en la interacción sólo a modo comparativo, ya que no se tomó en cuenta para el ANOVA del efecto Poda ni en la interacción. Solamente se hizo ANOVA con el año 2017 para el factor simple Año (A).

Poda	Año	Producción (kg planta <sup>-1</sup> )	Número de frutos planta <sup>-1</sup>	Peso de fruto (g)	Pasada principal (% del total)	EP (kg cm <sup>-2</sup> ASTT)
HW	2017	20,9	165	127,4	75	0,42
MW		22,1	187	119,4	60	0,51
MR		20,7	171	122,6	64	0,44
MC		17,9	155	117,0	73	0,45
HW	2018	29,3 ab	316 bc	95,2 b	80 ab	0,48 bc
MW		33,4 a	416 ab	82,1 c	94 a	0,57 ab
MR		20,3 c	200 cd	103,5 b	69 bcd	0,34 d
MC		33,2 a	462 a	75,3 cd	96 a	0,64 a
HW	2019	19,7 c	151 d	133,4 a	80 ab	0,26 d
MW		20,8 c	175 d	121,2 a	71 bc	0,32 d
MR		24,8 bc	314 bc	81,2 c	60 cd	0,36 cd
MC		34,0 a	539 a	65,7 d	52 d	0,58 ab
Poda	HW	24,5 b	235 b	114,3 a	80 a	0,37 b
	MW	27,1 b	296 b	101,6 b	82 a	0,44 b
	MR	22,6 b	257 b	92,4 c	64 b	0,35 b
	MC	33,6 a	501 a	70,5 d	74 ab	0,61 a
Año	2017	20,4 c	169 b	121,6 a	68 b	0,45 ab
	2018	29,1 a	349 a	89,0 b	85 a	0,51 a
	2019	24,8 b	295 a	100,4 b	66 b	0,38 b
<b>Poda (P)</b>		0,0012	<0,0001	<0,0001	0,0353	<0,0001
<b>Año (A)</b>	<b>p-valor</b>	0,0303	0,0004	0,0010	0,0004	0,0006
<b>P x A</b>		0,0071	0,0012	<0,0001	0,0087	0,0163

EP: eficiencia productiva, ASTT: área de sección transversal de tronco. Medias seguidas de una letra igual, en una misma columna, no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ .

El número de frutos cosechados por planta siguió similar patrón al descrito para la producción (Tabla 3.3). Durante 2018 MW y MC no se diferenciaron entre sí (440 frutos planta<sup>-1</sup>, en promedio). Por otro lado, MW tampoco se diferenció de HW (224 frutos planta<sup>-1</sup>, en promedio). En 2019, MC fue el tratamiento con mayor número de frutos por planta (540), sin diferencias con el 2018. Intermedio se ubicó el tratamiento MR con 315 frutos planta<sup>-1</sup>, y con menor número y sin diferencias entre sí se encontraron HW y MW (164 frutos planta<sup>-1</sup>).

En la Tabla 3.3 se observa que el peso medio de los frutos, en 2018, fue mayor en setos con poda MR y HW (99,5 g fruto<sup>-1</sup>) y, en tanto MW y MC fueron los menos pesados (78,7 g fruto<sup>-1</sup>). En 2019, MC mantuvo los frutos de menor peso (65,7 g fruto<sup>-1</sup>), y los tratamientos con poda invernal (HW y MW) evidenciaron los frutos más pesados (127,3 g fruto<sup>-1</sup>), significativamente más altos que MR (81,2 g fruto<sup>-1</sup>). Las diferencias en producción fueron parcialmente explicadas por el número frutos.

Con respecto a las proporciones de fruta cosechada en dos distintas pasadas (siendo una pasada principal y otra minoritaria, en todos los años de estudio) hubo algunas diferencias, aunque no se observó un patrón definido entre tratamientos (Tabla 3.3). Entre el 30 de diciembre y el 3 de enero se concentró la mayor proporción de fruta cosechada. En 2017 el porcentaje promedio de la pasada principal fue de 68 % y el resto en la pasada minoritaria (Tabla 3.3). En 2018 se observó la mayor proporción de fruta cosechada en la pasada principal, siendo del 90 %, en promedio, en los tratamientos HW, MW y MC; mientras que MR tuvo una pasada principal del 69 %. En 2019, las dos intervenciones invernales (HW y MW) tuvieron un porcentaje promedio de 75 % de fruta recolectada en la pasada principal. MC y MR fueron similares entre sí (56 % en la pasada principal). MR no se diferenció de MW (65 %, en promedio para la pasada principal).

La eficiencia productiva (EP) fue significativa en la interacción poda x año (Tabla 3.3). La EP en 2017 fue de 0,45 kg fruta por cm<sup>2</sup> de ASTT, en promedio. La EP fue similar en HW y MW en 2018 y en 2019 (0,52 y 0,29 kg fruta por cm<sup>2</sup> ASTT, respectivamente). MW incrementó la EP comparado a MR en 2018 (0,57 vs 0,34 kg fruta por cm<sup>2</sup> ASTT, respectivamente). En 2019, MW presentó EP significativamente más baja que MC (0,32 vs 0,58 kg fruta cm<sup>-2</sup> ASTT, respectivamente). MC se diferenció en 2018 (0,64 kg fruta cm<sup>-2</sup> ASTT) y en 2019 (0,58 kg fruta cm<sup>-2</sup> ASTT) de HW y de MR. Las plantas con poda MC fueron las que presentaron mayor EP en el último año, diferenciándose del resto de los

tratamientos. MR fue distinto del resto de los tratamientos solamente en el año 2018, con una EP de 0,34 kg fruta cm<sup>-2</sup> ASTT.

### **3.6. Características de calidad industrial de los frutos**

La humedad de los frutos y el contenido de sólidos solubles no respondieron significativamente a los tratamientos de poda y tampoco a la interacción poda x año (Tabla 3.4), siendo los promedios entre tratamientos y años de 84,6 % de humedad y 10,1 °Brix. El diámetro de fruto, la firmeza de pulpa y el matiz presentaron efecto significativo a la interacción poda x año (Tabla 3.4). En ambos años, el diámetro de los frutos fue similar en los tratamientos HW y MW (promedio 57,1 mm en 2018 y 63,3 mm en 2019). Los frutos de los setos con poda MC fueron los más pequeños en ambos años (53,7 mm, en promedio), significativamente más bajo que en plantas HW. En contraste, la poda MR en 2018 tuvo los frutos más grandes (60,2 mm) y similares a HW, y en 2019 fueron significativamente más pequeños (56,9 mm) que HW y MW.

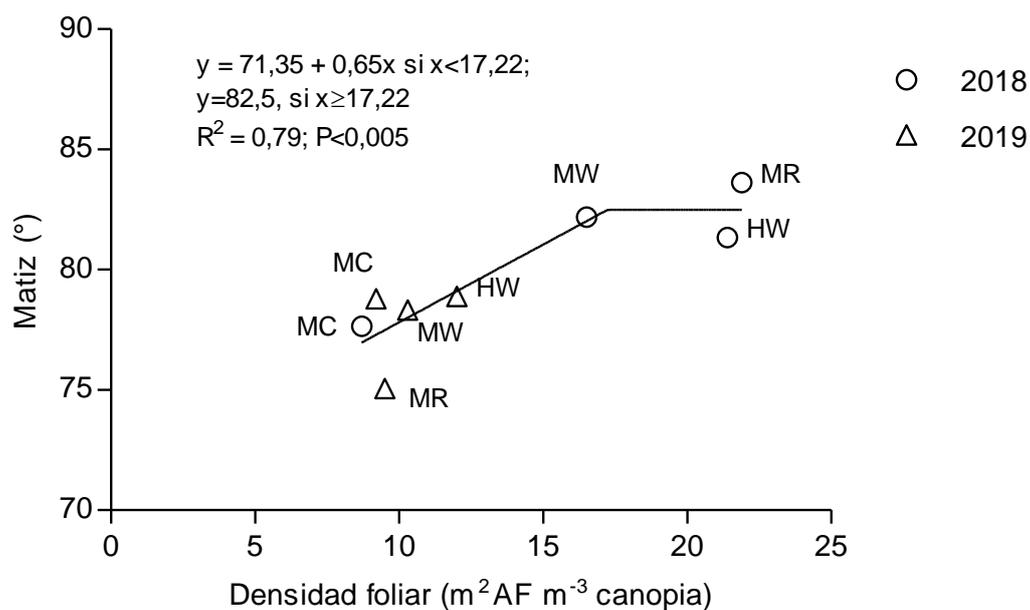
**Tabla 3.4.** Parámetros de calidad industrial medidos en frutos de plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC) durante los años 2018 y 2019.

<b>Poda</b>	<b>Año</b>	<b>Humedad de fruto (%)</b>	<b>Contenido de SS (°Brix)</b>	<b>Diámetro de fruto (mm)</b>	<b>Firmeza de pulpa (lb cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Matiz (°)</b>
HW	2018	81,1	10,0	58,4 bc	5,1 d	81,3 ab
MW		82,6	10,4	55,9 cd	5,4 cd	82,2 a
MR		79,7	10,5	60,2 ab	6,3 abc	83,6 a
MC		80,1	10,3	54,0 d	3,6 e	77,6 cd
HW	2019	88,4	9,9	63,5 a	7,4 a	78,9 bc
MW		86,6	10,6	63,1 a	6,3 abc	78,3 c
MR		89,1	9,9	56,9 bcd	6,2 bcd	75,1 d
MC		89,3	9,5	53,4 d	6,6 ab	78,8 bc
<b>Poda</b>	HW	84,7	10,0	60,9 a	6,3 a	80,1
	MW	84,6	10,5	59,5 a	5,8 ab	80,3
	MR	84,4	10,2	58,5 a	6,2 a	79,3
	MC	84,7	9,9	53,7 b	5,1 b	78,2
<b>Año</b>	2018	80,9	10,3	57,1	5,1	81,2
	2019	88,4	10,0	59,2	6,6	77,8
<b>Poda (P)</b>		0,9913	0,0764	0,0001	0,0192	0,2083
<b>Año (A)</b>	<b>p-valor</b>	<0,0001	0,0763	0,0372	<0,0001	0,0001
<b>P x A</b>		0,1558	0,1624	0,0018	0,0017	0,0008

SS: sólidos solubles. Medias seguidas de una letra igual, en una misma columna, no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ . Letras sólo son presentadas cuando ANOVA indicó efecto significativo.

Los patrones de firmeza de pulpa y matiz se pueden ver en la Tabla 3.4. Los frutos recolectados de plantas con poda HW y MW presentaron similar firmeza y matiz entre sí (5,2 lb cm<sup>-2</sup> en 2018 y 6,8 lb cm<sup>-2</sup> en 2019, en promedio). Los frutos de los setos MC tuvieron menor firmeza y matiz (3,6 lb cm<sup>-2</sup> y 77,6°, respectivamente) que resto de los tratamientos en 2018. En 2019, los frutos del tratamiento MC tuvieron casi el doble de firmeza que en 2018 (6,6 lb cm<sup>-2</sup>), y sin diferencias respecto al resto de los tratamientos. El tratamiento MR tuvo en 2018 la mayor firmeza (6,3 lb cm<sup>-2</sup>) y el mayor matiz junto con las podas HW y MW, siendo el promedio de 82,4°. En 2019, el tratamiento MR tuvo similar firmeza a los otros dos tratamientos mecánicos (MW y MC) con un promedio de 6,4 lb cm<sup>-2</sup>. En cuanto al matiz en el 2019, el tratamiento MR fue el de menor valor respecto de los otros tratamientos con 75,1°.

El color de cobertura o matiz de los frutos estuvo estrechamente asociado a la densidad foliar (Fig. 3.2). El matiz de los frutos incrementó linealmente con el aumento de la densidad foliar hasta valores de 17,22 m<sup>2</sup> de AF por m<sup>-3</sup> de canopia donde los frutos alcanzaron máximo matiz de 82,5° y a partir de allí el matiz permaneció sin cambio con el incremento del área foliar (AF).



**Figura 3.2.** Relación entre la densidad foliar y el matiz de frutos de durazneros cv. Pavie Catherine podados manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y poscosecha (MW, MR, MC, respectivamente). Cada punto es el valor promedio del tratamiento (n=5) en los años 2018 y 2019.

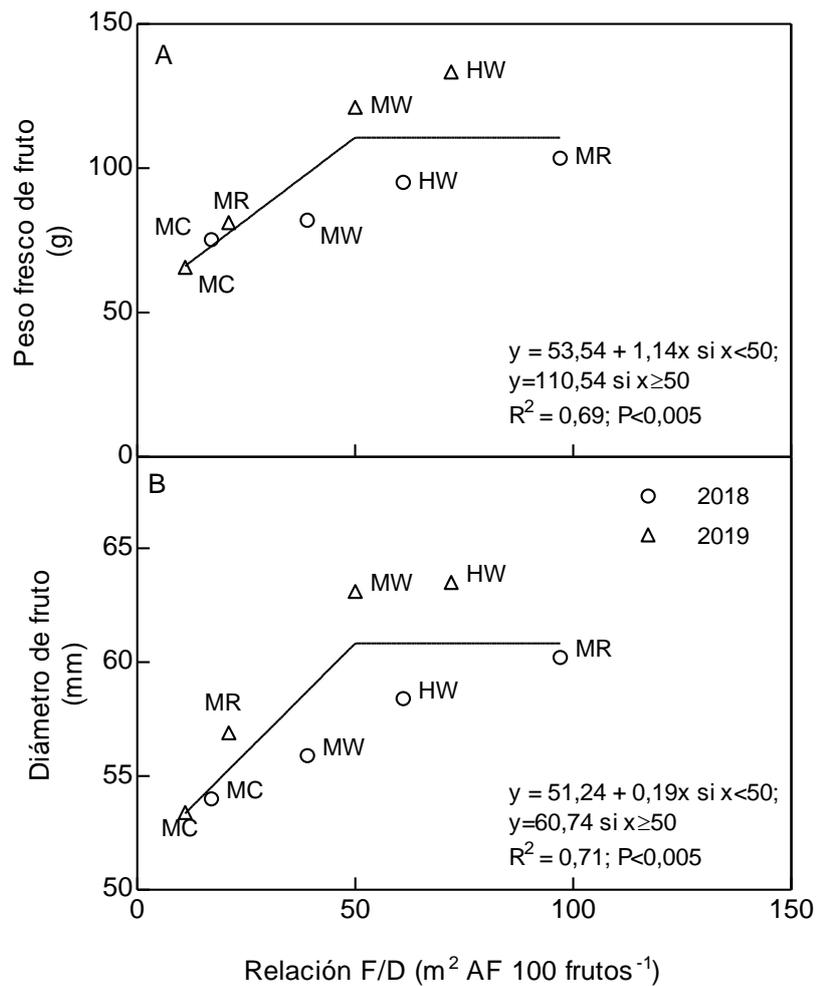
### 3.7. Relación entre fuente y destino

En la Tabla 3.5 se presentan estimaciones del tamaño de la fuente ( $m^2$  área foliar - AF - por planta) cada 100 frutos. En ambos tratamientos podados en invierno (HW y MW), la relación F/D fue similar entre ellos y en los dos años (50  $m^2$  AF por cada 100 frutos, promedio en 2018 y 61  $m^2$  AF por cada 100 frutos, promedio en 2019), y más alta que la relación F/D de los setos MC (17  $m^2$  AF por cada 100 frutos en 2018 y 11  $m^2$  AF por cada 100 frutos, en 2019). El tratamiento MR mostró comportamiento contrastante, teniendo la relación F/D más alta en 2018 (97  $m^2$  AF por cada 100 frutos), y la más baja junto con MC en 2019 (16  $m^2$  AF por cada 100 frutos, en promedio). El peso y el diámetro de los frutos estuvieron cercanamente asociados a la relación F/D (Fig. 3.3), independientemente del momento y tipo de poda. Ambos, peso y diámetro de los frutos, incrementaron linealmente con el aumento de la relación F/D hasta máximos de 111 g y 60,8 mm, respectivamente (Fig. 3.3). Los valores máximos de peso y diámetro de los frutos, permanecieron estables a partir de incrementos de relación F/D superior a 50  $m^2$  AF por cada 100 frutos.

**Tabla 3.5.** Relación entre el área foliar (F, fuentes) y el número de frutos (D, destinos) medida en plantas de duraznero cv. Pavie Catherine podadas, en 2018 y 2019, manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en: invierno (MW), pre raleo (MR) o pos cosecha (MC).

<b>Poda</b>	<b>Año</b>	<b>Relación F/D (m<sup>2</sup> AF 100 frutos<sup>-1</sup>)</b>
HW	2018	61 bc
MW		39 cd
MR		97 a
MC		17 de
<hr/>		
HW	2019	72 b
MW		50 bc
MR		21 de
MC		11 e
<hr/>		
<b>Poda</b>	HW	67 a
	MW	45 b
	MR	59 ab
	MC	14 c
<hr/>		
<b>Año</b>	2018	53
	2019	38
<hr/>		
<b>Poda (P)</b>		<0,0001
<b>Año (A)</b>	<b>p-valor</b>	0,0138
<b>P x A</b>		<0,0001

AF: área foliar. Medias seguidas de una letra igual, en una misma columna, no son significativamente diferentes, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ . Letras sólo son presentadas cuando ANOVA indicó efecto significativo.



**Figura 3.3.** Relación entre peso fresco de frutos (A) y diámetro de fruto (B) versus la relación fuente (F; medido como área foliar) /destino (D; medido como número de frutos) de durazneros cv. Pavie Catherine podados manualmente en invierno (HW) y mecánicamente en invierno, pre raleo y pos cosecha (MW, MR, MC, respectivamente). Cada punto es el valor promedio del tratamiento (n=5) en los años 2018 y 2019.

## 4. DISCUSIÓN

En relación a los objetivos propuestos, y debido a la escasa información científica existente sobre los efectos de la poda mecánica en durazneros, en primer término, discutiremos nuestros resultados poniendo foco en la comparación entre la poda manual y la poda mecánica, realizadas en invierno. Posteriormente, nos enfocaremos de discutir los principales resultados obtenidos de la comparación entre los tres momentos de intervención mecánica.

### 4.1. Selectividad de la poda. Manual vs mecánica.

La poda manual permite seleccionar individualmente qué brotes extraer, cuánto acortarlos y cuáles dejar por su ubicación en la planta y su potencialidad de carga frutal (Bussi et al., 2011). La característica de selectividad no la poseen las intervenciones mecánicas, debido a que estas podas son uniformes y no discriminan tipo, tamaño, ni posición del material extraído. En este estudio, el tratamiento MW extrajo en promedio  $1,4 \text{ kg planta}^{-1}$ , un 150 % menos biomasa (i.e. una poda menos intensa) que lo extraído con HW (Fig. 3.1A). Este menor peso o menor intensidad de poda pone en evidencia la no selectividad de la poda mecánica, como resultado de no extraer o “entresacar” brotes internos de la copa (Marini y Sherif, 2020a y 2020b) sino solamente de la periferia. Las características de las brindillas remanentes en las plantas luego de realizada la poda también pueden utilizarse como indicador del grado de selectividad de la poda (He y Schupp, 2018). Se puede observar en la Tabla 3.2 que la poda mecánica, deja una mayor longitud total de brindillas (LTB) que la poda manual. La poda manual y la mecánica invernal fueron diferentes en 2018 con  $61,4 \text{ m planta}^{-1}$  y  $92,3 \text{ m planta}^{-1}$ , respectivamente; en 2019 ambas podas disminuyeron un 60 % el LTB y no se diferenciaron entre sí. Considerando un volumen copa en cosecha similar entre tratamientos, la poda mecánica condujo a una mayor potencialidad frutal que la poda manual principalmente explicado por mayor cantidad de brotes dejados en el interior de la copa. En cuanto al largo medio de brindillas (Tabla 3.2), en 2018 no hubo diferencias entre tratamientos y en 2019 disminuyó el largo medio de brindillas teniendo MW brindillas 11,9 cm más cortas que HW. Esto expone, al menos comparando

el año 2019, que la poda mecánica lateral genera mayor cantidad de brotes y de menor longitud. Las plantas intervenidas mecánicamente tuvieron un cuaje similar a las podadas manualmente con un mayor número de frutos totales por planta. En plantas podadas mecánicamente, la mayor cantidad de flores totales por planta puede haber sido un factor positivo para evitar un daño más severo por helada, algo presentado por Di Césare et al. (1999) y Musacchi et al. (2014), ambos en duraznero.

Al podar se generan zonas de corte con la potencialidad de generar nuevos crecimientos vegetativos. En la poda manual la extracción de brotes generalmente es completa, aunque sin generar tantas zonas potenciales de crecimiento de nuevas brindillas, como sí sucede en una poda mecánica (Marini y Sherif, 2020a y 2020b). Al generarse mayor cantidad de cortes, aumenta la posibilidad que se desarrollen más brotes y con ello el número de yemas, tanto vegetativas como reproductivas. En la Tabla 3.2, se aprecia en 2018, que la densidad floral no fue diferente entre HW y MW (54 flores  $m^{-1}$ ) y en 2019 si hubo diferencias, observándose una densidad de flores un 72 % mayor en MW respecto de HW; esto pudo deberse a que en MW se deja una mayor cantidad de brotes más cortos y, como expusieron Byers et al. (1990) y Szabó et al. (2004) muchas variedades de duraznero poseen mayor densidad de yemas reproductivas en la parte media de brotes cortos (con entrenudos de 20 mm) y a medida que los brotes son más largos (entrenudos mayores a 30 mm) la parte media del brote presenta menor número de yemas florales y disminuye la densidad de flores. La densidad de frutos (Tabla 3.2) siguió un patrón similar al observado en la densidad de flores y el tratamiento mecánico llegó con un mayor número de frutos por metro de brindilla en 2019 (41 frutos  $m^{-1}$ ) comparado con HW (15 frutos  $m^{-1}$ ). De lo mencionado anteriormente, se desprende una posible doble causa del mayor número de flores y frutos: por un lado, en la poda mecánica se dejan brotes rebajados y brotes más cortos enteros (que probablemente tengan una mayor densidad de yemas) y, por otro lado, se dejan estas brindillas en mayor número (lo que aporta a tener un mayor LTB por planta). En la Tabla 3.2, se observa el cálculo de la potencialidad frutal que se podría obtener de una planta sin ralear. En MW, donde no se intervino la parte interna de la canopia y se dejó un mayor número de yemas florales, hubo en 2018 y 2019 un 41 % y un 475 % más de potenciales frutos por planta, respectivamente, que en HW.

En la Tabla 3.1 se observa que el AF en plantas podadas mecánicamente fue un 17 % menor que en plantas intervenidas de forma manual, explicado principalmente por el menor tamaño más que al número de hojas. El menor desarrollo de hoja en los tratamientos con poda mecánica, independientemente del momento de intervención, puede deberse a la mayor cantidad de flores formadas y cuajadas, que compitieron con el crecimiento de las hojas. La competencia entre el desarrollo de flores y de los frutos con la expansión foliar ha sido previamente observada en duraznero (Peavey et al., 2020).

El volumen de seto en la cosecha no mostró diferencias entre tratamientos (Tabla 3.1). Más allá de haberse observado un mismo tamaño de planta ( $8,5 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ , en promedio) en árboles podados mecánicamente como en aquellos podados manualmente, hubo una modificación en la relación entre hojas (fuentes) y frutos (destinos), es decir, la relación fuente/destino (F/D). Esto se puede ver en la Tabla 3.5, donde la relación F/D observada fue un 32 % menor en MW en comparación con HW. En este estudio la menor relación F/D en MW respecto a HW fue debido a una menor AF y en menor medida a un mayor número de destinos en el tratamiento mecánico (Tabla 3.3) y por eso las diferencias en la variable relación F/D (Ryan et al., 2018). El alto valor de F/D en la poda manual puede indicar una mayor cantidad de hojas (fuentes) que las necesarias para sostener los frutos (destinos) hasta cosecha. Esta mayor cantidad de hojas genera un mayor sombreado a frutos y brindillas, lo cual podría llevar a una menor calidad de frutos y yemas florales de la siguiente temporada. En la Figura 3.3, se puede observar que HW en 2018 no llega al umbral óptimo de tamaño de fruto (como diámetro o peso), probablemente por un exceso de destinos (Casierra-Posada et al., 2007). Conocer la relación óptima que implique la menor cantidad de AF para la misma cantidad de frutos y según el destino de la producción permitiría aumentar el rendimiento por planta sin afectar marcadamente la calidad de la fruta. Alem et al. (2021), en vid, observaron mediante análisis de componentes principales (expresados como número de frutos totales por planta) que el componente que explicó en mayor medida el comportamiento de las plantas durante el experimento fue la relación Fuente/Destino. También observaron que un decrecimiento drástico de la relación F/D modificó la acumulación de metabolitos primarios, antocianinas y ciertos precursores aromáticos.

Al momento de cosecha no hubo diferencias en el rendimiento entre HW y MW (25,8 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio durante todo el experimento). En la Tabla 3.3, se puede ver que entre ambos tratamientos no varió el número de frutos por planta (266 frutos planta<sup>-1</sup>, en promedio), y si lo hizo levemente el peso individual de los mismos, siendo un 12,5 % más livianos los frutos de plantas podadas mecánicamente en invierno. Esto refleja la experiencia de Casierra-Posada et al. (2007) donde una disminución de la relación F/D, por aumento de la cantidad de frutos, puede dificultar el aumento del peso de los mismos. En el caso de nuestro experimento no se vieron diferencias estadísticas, aunque si se observó cierta tendencia numérica a un menor peso de fruto en el tratamiento MW respecto a HW. Todo ello sucede cuando la limitante es el número de hojas por fruto; por eso, si se desean obtener frutos de mayor tamaño, se debe ajustar la intensidad de poda mecánica para así modificar la relación F/D; en nuestro caso no hubo diferencias en la relación F/D entre HW y MW, en ambos años. Albarracín et al. (2017 y 2018), en olivo, expusieron que se debe ajustar la intensidad de poda mecánica para evitar rebrotes excesivos y lograr equilibrar el crecimiento de brotes y el número de frutos. Se debe avanzar en evaluaciones más específicas de intensidad de poda mecánica para poder tener los valores adecuados para la cantidad de fuentes y destinos en una planta, y que su relación sea la óptima para cada tipo de producción.

La eficiencia productiva (EP) no se diferenció entre tratamiento podados en invierno manual o mecánicamente (Tabla 3.3), En 2017 y 2018 siendo el promedio de EP 0,47 y 0,53 kg fruta por cm<sup>2</sup> de ASTT, respectivamente. Se observó mayor eficiencia productiva en plantas MW al tercer año (0,32 kg fruta por cm<sup>2</sup> de ASTT) respecto de HW, que tuvieron un 19 % menos de eficiencia productiva en 2019. La calidad industrial de los frutos no se diferenció entre plantas con poda mecánica o poda manual, similar a lo expuesto por Siham et al. (2005) que, más allá de ser podas manuales las ensayadas, tuvieron grandes variaciones en intensidades de poda (de suaves a muy severas podas), y en el cual no observaron diferencias en el contenido de sólidos solubles entre 3 intensidades de poda y 2 niveles de carga frutal.

#### **4.2. Momento de intervención con poda mecánica**

En 2018, la poda en poscosecha extrajo 3 veces mayor cantidad de biomasa respecto de los otros dos momentos de poda mecánica (Fig. 3.1). En el momento de intervención, luego de la cosecha, la planta se encontraba en máxima expresión vegetativa y dentro del cómputo de los restos había presencia de hojas totalmente desarrolladas. Lo anterior es similar a lo desarrollado por Ikinici (2014b) en duraznero, donde a medida que avanzaba la temporada las hojas eran más grandes y mayor era el peso de los restos de poda. En 2019 los tres tratamientos mecánicos no se diferenciaron entre sí (2 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio). No se observaron diferencias significativas en el incremento de sección transversal de tronco entre momentos de poda (10,7 cm<sup>2</sup>, en promedio). En un estudio realizado por Ikinici et al. (2014 y 2014b), en duraznero, determinaron un crecimiento vegetativo significativamente menor al intervenir con poda en verde y, a medida que se retrasaba más la poda, la respuesta en el crecimiento vegetativo posterior era menor. Las podas mecánicas realizadas en primavera (MR) y verano (MC) pueden haber afectado la movilidad de reservas y ejercido un efecto restrictivo sobre el crecimiento vegetativo en la temporada subsiguiente (Ikinici 2014b). Al podar luego de la cosecha y antes de senescencia y caída de hojas, se reduce la movilización de fotoasimilados hacia las estructuras perennes de los árboles para su almacenamiento (Ryan et al., 2018). Al podar en verde, además de ramas y brotes, también se eliminan hojas, las cuales aportan más del 50 % del nitrógeno para floración y brotación (Tagliavini et al., 1998), generando una menor disponibilidad de reservas para la siguiente temporada (Marini y Sherif, 2020a y 2020b).

Respecto al área foliar (AF) en el año 2018 la poda MR alcanzó los 188,3 m<sup>2</sup> por planta, le siguió MW con 151,8 m<sup>2</sup> por planta y por último MC con 72 m<sup>2</sup> por planta; en 2019 el AF bajó 67 % en MR, 47 % en MW y se mantuvo sin diferencias estadísticas en MC. Ese AF estuvo contenida en un mismo tamaño de planta, ya que los tres tratamientos mecánicos llegaron con un volumen de planta, al momento de cosecha, similar: 7,73 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup> promedio (Tabla 3.1), indicando una densidad foliar diferente entre tratamientos mecánicos. Por otro lado, también aumentó la carga frutal; con un mayor número de frutos se afectaron variables de calidad como firmeza (Tabla 3.4) y diámetro de frutos (Fig. 3.3) en MC. MC fue el tratamiento mecánico que tuvo los frutos más pequeños y menos firmes, indicando esto último un adelantamiento en la maduración de los frutos.

El tratamiento MC tuvo un 34 % más de largo total brindillas (LTB) que los tratamientos MW y MR (68,8 m planta<sup>-1</sup>, en promedio), que no fueron diferentes entre sí (Tabla 3.2). Si se observa el año 2018 respecto del 2019, para el caso de MC puede verse que en el primero fue de 135,9 m planta<sup>-1</sup> y al segundo año el LTB cayó a 49,1 m planta<sup>-1</sup>. Esto abona los resultados expuestos por Hossain et al. (2006), donde vieron que la poda de verano disminuía a la mitad el largo total de brotes en la siguiente temporada. MC durante la temporada 2018 luego de podarse generó un mayor LTB, dado por un mayor número de brotes dentro de la copa y al año siguiente (2019) el crecimiento se vio restringido por falta de reservas que extrajeron con los restos del 2018. En resumen, MC tuvo mayor LTB por mayor número de brotes más cortos durante las dos temporadas analizadas, respecto a MW y MR. Sin embargo, la desvigorización manifestada de un año al otro al extraerse reservas al podar en verde, podría marcar una tendencia en repetidas futuras temporadas. Se destaca que todos los tratamientos mecánicos tuvieron una cantidad importante de material potencialmente productivo (i.e. brindillas con posibilidades de tener flores) como se ve en la Tabla 3.2. Esto abre una alternativa de manejo frente a contingencias climáticas que puedan afectar yemas reproductivas, flores y/o frutos recién cuajados. El cuaje no mostró diferencias significativas entre tratamientos mecánicos (Tabla 3.2), obteniéndose un promedio de 68 % de cuaje. La diferencia entre años, pudo deberse a la ocurrencia de una helada tardía el 3 de septiembre de 2019 que afectó el porcentaje de cuaje, pasando de un 84,2 % en 2018 a un 49,2 % en 2019. La densidad floral (Tabla 3.2) en plantas MC (63 flores m<sup>-1</sup>) no se diferenció de los otros dos tratamientos mecánicos. MW y MR se diferenciaron significativamente entre sí, observándose 28 flores más por cada metro en el tratamiento MW.

Se observaron que los frutos dejados luego del raleo siguieron similar tendencia que la cantidad de frutos previos al raleo. Plantas MW y MC tuvieron un 29,7 % más frutos por metro de brindilla previo al raleo que MR (32 frutos m<sup>-1</sup>). Luego del raleo este porcentaje fue un 50 % mayor en MW y MC respecto a MR (6 frutos m<sup>-1</sup>). Se observó que, a mayor cantidad de frutos previo al raleo, un mayor número de frutos luego del raleo, dado a que probablemente no se distinguieron algunos frutos de las hojas, por su coloración aún verde y no fueron debidamente raleados (Byers et al., 2010).

La producción por planta en MW y MR fue un 35 % menor en promedio, respecto a MC que tuvo 33,6 kg planta<sup>-1</sup> (Tabla 3.3). Se afectó la producción por planta, y según el momento de intervención fue el componente del rendimiento que se modificó: el número de frutos totales (con MC) o el peso individual de los mismos (con MR y MW). Casierra-Posada et al. (2007) determinaron que la cantidad de hojas por fruto influyen en el posterior crecimiento de los mismos y en la acumulación de sólidos solubles. Cuando hay una mayor cantidad de frutos se altera la relación entre fuentes y destinos (Fischer et al., 2012), y si bien en el presente estudio hubo también un aumento de hojas (fuentes), en todos los tratamientos mecánicos los destinos (frutos) también aumentaron en número e influyeron más marcadamente que las hojas en la relación F/D. En la Tabla 3.5 se puede observar que el momento de poda con la menor relación F/D fue MC (14 m<sup>2</sup> de AF por cada 100 frutos). Ese valor fue casi cuatro veces (3,7) menor que la relación F/D promedio de los tratamientos MR y MW. El tratamiento MC tuvo la mayor cantidad de frutos por planta y esos frutos mostraron el menor diámetro ecuatorial (53,7 mm) comparado con MW y MR, que tuvieron frutos 5,3 mm más grandes. El mayor peso de fruto se vio en MW (101,7 g) y un 10 % y 31 % menos pesados en MR y MC, respectivamente. En MC, al dejar mayor densidad de frutos luego del raleo, el número de frutos potenciales siguió siendo alto y por eso el peso de los mismos fue más bajo, explicado esto por competencia entre destinos, como lo señalan Siham et al. (2005) en duraznero cv. Alexandra. En cuanto a la firmeza de pulpa, MW tuvo una firmeza intermedia sin diferencias con los otros tratamientos (5,8 lb cm<sup>-2</sup>), MR tuvo los frutos más firmes, con una diferencia de 1,1 lb cm<sup>-2</sup>, respecto a MC, que tuvo 5,1 lb cm<sup>-2</sup>, implicando probablemente una maduración más temprana en los dos últimos tratamientos. La influencia del momento de poda mecánica sobre el AF pudo haber afectado la firmeza de los frutos en cosecha por un adelantamiento de la maduración y tal vez ayudado por una mayor exposición de los frutos a la radiación, como lo observado por Zhang B. et al. (2018) donde una menor firmeza se ve en aquellos frutos con mayor exposición a la radiación, como fue el caso de MC (Tabla 3.4). El contenido de sólidos solubles, humedad de fruto y matiz no evidenció diferencias entre tratamientos de poda mecánica.

Lewallen y Marini (2003) en duraznero, cubrieron frutos distribuidos por toda la copa y observaron que un aumento en la cobertura sobre el fruto (i.e. cómo podría suceder

con una mayor cobertura foliar) disminuía la exposición de los mismos a la radiación, observándose coloraciones menos rojizas sobre la piel. De forma similar, nosotros observamos una relación positiva entre la densidad foliar y el matiz (a mayor valor de matiz menores coloraciones rojizas) debido posiblemente a una menor radiación incidente sobre el fruto (Fig. 3.2). Según la intensidad de la poda (siendo mayor en 2019 que en 2018) y el momento de intervención fueron las diferencias observadas en la Tabla 3.4. Al ser menor la densidad de hojas, se logra el pasaje de una mayor cantidad de radiación. Ese pasaje de la radiación del exterior de la canopia hacia el interior, como expone Nerozzi et al. (1997) y Oyarzún et al. (2010) no solo depende del índice de área foliar, sino también del ángulo de inclinación solar, del coeficiente de extinción de la luz de cada especie en particular, del ángulo de inserción de las hojas y de su tamaño, cantidad y distribución de brotes y hojas en la estructura de la planta, entre otras cuestiones. Parte de esto se puede observar con el AF por planta (Tabla 3.1), donde al disminuir el AF los frutos se tornan más rojizos. En la Figura 3.2, se observa una meseta a partir de los  $17,2 \text{ m}^2 \text{ AF m}^{-3}$  canopia, donde los frutos mostraron muy pocas zonas rojizas. En la Tabla 3.4, se observa que el tratamiento MC fue constante en matiz para ambos años ( $78,2^\circ$ , en promedio). En 2018, los frutos de MW y MR no se diferenciaron entre sí ( $82,9^\circ$  en promedio) y si lo hicieron con respecto a MC. Esto en parte se debió a los valores de AF mayores que se midieron en esos tratamientos respecto a las plantas MC (Tabla 3.1), en algunos casos más del doble de AF. En 2019, la situación fue diferente ya que todos los tratamientos mecánicos tuvieron una intervención más intensa (i.e. el ancho dejado luego de la poda fue un 20 % menor a 2018) y las AF fueron mucho menores. Una de las consecuencias de este aumento de la intensidad de poda fue la mayor cantidad de coloraciones rojizas en los frutos, siendo similares los valores medidos en los de MW y MC ( $78,5^\circ$ , en promedio). Los frutos del tratamiento MR fueron los de menor matiz de los tres tratamientos ( $75,1^\circ$ ) y por ende más coloraciones rojizas.

La mayor eficiencia productiva (EP) fue observada en plantas con poda MC, como se puede ver en la Tabla 3.3. Como expone Ikinci et al. (2014), plantas podadas en poscosecha (i.e. verano) manifestaron un menor crecimiento de tronco. El tratamiento MC tuvo la EP mayor ya que logró con menor ASTT una mayor producción por planta y, además compensó el menor tamaño individual de frutos con un mayor número de éstos ( $502 \text{ frutos planta}^{-1}$ ). Esto se visualiza con el rendimiento por planta ( $33,6 \text{ kg planta}^{-1}$ )

que fue superior a los otros dos tratamientos mecánicos, que tuvieron 8,7 kg menos por planta. La EP fue menor en MW y MR, siendo de 0,39 kg fruta por cm de ASTT. En las tres temporadas, fueron necesarias dos pasadas para cosechar la totalidad de la fruta (Tabla 3.3). Entre el 30/12 y 3/1, para los tres años, se ubicó la pasada donde se concentró el mayor peso de fruta recolectada. Es de destacar que se debe seguir de cerca la madurez del fruto e intentar acercar las fechas de cosecha, con el objetivo final de una única cosecha.

En cuanto a tamaño y forma óptimos de seto, como lo menciona Gómez-del-Campo et al. (2017), la relación entre el alto de la canopia y el ancho de calle libre (A/CL) ha sido utilizada en otros frutales formados en seto por estar relacionada con la distribución de la radiación en distintas posiciones de la copa. La relación A/CL debe acercarse a 1, para permitir iluminación en las partes bajas e internas de la copa y favorecer la homogeneidad en la maduración de la fruta (He et al., 2008) e iluminación de yemas. Entre tratamientos de poda mecánica no hubo diferencias en la relación A/CL al momento de cosecha, siendo 1,19 el promedio (Tabla 3.1). En este estudio llegamos a 1,19 en la relación A/CL partiendo luego de la poda con valores promedio de 0,85. Son necesarios estudios por estratos en cuando a calidad de fruta y producción para saber cuál es la relación óptima en este tipo de explotación frutícola. Se debe evitar bajar rendimiento por falta o exceso de área foliar y evitar también generar frutos inadecuados para el fin industrial que se busca (mitades o pulpa), dado por un déficit o exceso de radiación solar que afecten, por ejemplo, la firmeza de pulpa o el contenido de sólidos solubles. Por otra parte, dada la particularidad de la producción del duraznero, que se ubica sobre brindillas de un año de edad, la continuidad de estos estudios en el tiempo, permitirán conocer las ventajas y desventajas del uso de setos con poda mecanizada.

### **4.3. Discusión de hipótesis**

*H1: Plantas podadas mecánicamente en invierno tendrán mayor cantidad de cortes, respecto a la poda manual, lo que propiciará el crecimiento de un mayor número de brotes de menor longitud. Además, se podrá contener mejor la relación entre el alto de la copa y el ancho de calle libre (A/CL).*

Plantas podadas mecánicamente en invierno tuvieron más del doble de brotes, ya que el largo total de brindillas fue un 53 % mayor en la poda mecánica invernal, y dichas brindillas fueron 7,5 cm más cortas, respecto de la poda manual realizada en la misma época. Lo anterior concuerda con lo descrito por He y Schupp (2018) para la poda mecánica en manzanos. Por otro lado, la relación A/CL no fue significativamente diferente entre tratamientos podados mecánica y manualmente. Por lo tanto, la hipótesis enunciada se acepta parcialmente, debido a que sí hubo mayor cantidad de brotes de menor longitud en la poda mecánica, aunque con una relación A/CL sin diferencias.

**H2:** *La poda mecánica invernal al dejar un mayor número de yemas por planta aumentará el número de frutos a cosecha, respecto de plantas podadas manualmente en invierno. Las características industriales de frutos cosechados de plantas podadas mecánicamente tendrán una calidad industrial inferior (menor peso y diámetro, menor contenido de sólidos solubles, menor firmeza, menor color de cobertura y menor humedad de fruto) respecto de los provenientes de plantas podadas manualmente.*

Al comparar ambas podas invernales, una mecánica y la otra manual, no se evidenciaron diferencias en la producción por planta, tanto en peso como en el número de frutos cosechados. Tampoco mostraron diferencias en la calidad industrial de frutos: tuvieron similar humedad, diámetro ecuatorial, firmeza de pulpa, contenido de sólidos solubles y color de cobertura (dado por el matiz) dando indicios de que la mayor cantidad de brotes y ramas dejados luego de la poda no sombrearon excesivamente y permitieron el adecuado crecimiento de los frutos, en línea a lo expuesto por Casierra-Posada et al. (2007). Por lo tanto, la hipótesis se rechaza debido a que los tratamientos no afectaron el tamaño de la fuente (área foliar) ni el número de destinos (frutos). Esto ocurrió a pesar de que plantas con poda mecánica tuvieron mayor número de yemas.

**H3:** *La poda mecánica realizada en momentos de activo crecimiento, como en preraleo y en poscosecha, respecto a la realizada en reposo invernal, disminuirá el vigor de la brotación (i.e. brotes más cortos con menos yemas) y el desarrollo reproductivo (i.e.*

*menor cantidad de flores) en la temporada siguiente. Esto será debido a que se extraerá una mayor proporción de área foliar y madera con los restos de poda, variando la relación entre fuentes y destinos. El momento de poda mecánica no modificará el número de yemas por planta y en consecuencia el tamaño de los frutos. En tanto que su calidad industrial será similar, independientemente del momento de intervención.*

Las podas realizadas durante el periodo de activo crecimiento (preraleo y poscosecha) afectaron el número de yemas por árbol. La densidad de flores fue menor debido a que el largo total de brindillas fue mayor en los tratamientos preraleo y poscosecha, pero con menor cantidad de yemas de flor respecto a la poda en reposo invernal. Además, las podas realizadas durante el periodo de activo crecimiento favorecieron un mayor número de yemas vegetativas que originaron brotes tendientes a sombrear la estructura del árbol y a los frutos. Esto explica porque los frutos de los dos tratamientos realizados en verde (preraleo y poscosecha) tuvieron calidad industrial levemente inferior, sobre todo en la poda realizada poscosecha. Similares resultados fueron observados por Hossain et al. (2006) quienes mostraron que la poda de verano reduce la formación de yemas florales para la siguiente estación de crecimiento. Los autores también observaron que el retraso de la poda hacia la cosecha, conduce a una disminución en la disponibilidad de asimilados para los frutos, cuestión que afecta la calidad de los mismos (por ejemplo, menor diámetro de fruto y menor firmeza en la poda poscosecha). Además, esto se ve acentuado si el crecimiento vegetativo no alcanza a generar las fuentes necesarias para abastecer dicha cantidad de frutos en desarrollo, estando esto relacionado con una mayor disponibilidad de asimilados. En base a lo expuesto se acepta la hipótesis del efecto desvigorizante en las podas realizadas en verde respecto de la poda en reposo invernal y sus efectos sobre la producción y calidad industrial de los frutos.

## **5. CONCLUSIONES**

En algunas de las variables medidas se observaron diferencias entre podas mecánicas y la poda manual en cuanto a calidad de fruta, características vegetativas y reproductivas, que muestran la factibilidad de realizar podas mecánicas en durazneros

con destino para industria. En montes frutales completamente podados de forma manual se debe iniciar una combinación de técnicas, como medida de transición hacia modelos completamente mecanizados. En este estudio la calidad de los frutos (sólidos solubles, diámetro y firmeza) con la poda mecánica en invierno, no se vio diferenciada significativamente respecto de aquellos frutos cosechados de plantas podadas manualmente. Esto es importante ya que se redujeron los tiempos de poda y no se perdió marcadamente el rendimiento ni la calidad de la producción en las temporadas estudiadas.

Entre momentos de intervención mecánica se observaron diferencias que pueden tener ventajas y desventajas según el objetivo particular buscado. Con podas en invierno se logra un efecto similar al de la poda manual, pero con una mayor estructura de brotes y yemas. Esto disminuye los jornales por hectárea y abre la posibilidad de emplear mano de obra no capacitada en poda específicamente, por ejemplo, si se hace con máquinas manuales (como en este experimento) ya que, un operario puede realizarla sin contar con conocimientos de poda, solamente sabiendo las dimensiones de la planta a dejar sin podar. El tratamiento poscosecha fue el de mayor eficiencia productiva de todos los tratamientos. Esto se debió al mayor rendimiento con el menor crecimiento de tronco, aunque con fruta de menor tamaño, esquema ideal para un monte destinado a pulpa, donde se buscan kilogramos y no tamaño de fruto. Esta poda poscosecha fue estudiada, en nuestro caso, en una variedad temprana. Puede que no ocurra lo mismo con una variedad de maduración tardía, por eso son necesarios estudios que tomen en consideración la época de maduración de la fruta e incluya variedades medias y tardías. Esto es debido a que los momentos de floración, brotación, cuaje, maduración y la época de poscosecha serán diferentes según la fecha de cosecha de cada variedad.

En el caso de plantaciones en alta densidad el objetivo principal es que las plantas ocupen rápidamente el espacio asignado a cada una y se forme el continuo vegetal. Dicho tamaño y forma se deben ajustar con poda mecánica. El momento en que se realice la intervención permitirá vigorizar o restringir el crecimiento del seto. Sin embargo, son necesarios estudios más específicos y de mayor duración que indaguen acerca de cuestiones vinculadas a la movilidad de reservas y a la distribución de la radiación en la inducción y diferenciación de yemas reproductivas, en durazneros podados mecánicamente. Además, los estudios precisan de más años de observaciones

ya que se trata de una especie que podría presentar envejecimientos de sus estructuras reproductivas, algo que desconocemos al podar mecánicamente.

Se debe ajustar la relación entre fuentes y destinos, asistido por un adecuado raleo de fruta, siendo así factible la baja de los costos asociados a la poda y con la premisa de obtener frutos con un tamaño aceptable para su utilización en mitades. Es importante, al ajustar esta relación entre lo vegetativo y reproductivo, seguir valores umbral y no valores únicos. La adopción de distintas técnicas de poda mecánica será económica y técnicamente factible si se ajustan diferentes variables de los sistemas productivos, que permitan aumentar en forma razonable la capacidad operativa y mantengan la calidad y aptitud industrial del producto.

## CAPÍTULO IV

### **Efecto de la intensidad de poda mecánica y del riego deficitario primaveral en setos de olivo cv. Arbosana, sobre características vegetativas, reproductivas y componentes del rendimiento**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

De las 77.050 ha implantadas con olivos, el 68 % tiene como destino la elaboración de aceite y el 32 % restante se emplea para la realización de conservas (CNA, 2018). La mayor superficie dedicada al olivar se encuentra en las provincias del Oeste argentino, donde se concentran 70.190 hectáreas del total de olivos a nivel nacional, abarcando desde Catamarca hasta Mendoza. La superficie del olivar destinado a la producción de aceite, tomando las cuatro principales provincias, se reparten en un 16,4 % en Catamarca, 19,4 % en La Rioja, 14,4 % en San Juan y un 17,1 % en Mendoza. La superficie del olivar con destino a la elaboración de conservas se distribuye en un 5,6 % Catamarca, 17,3 % en La Rioja, 4,3 % en San Juan y 5,5 % en Mendoza (CNA, 2018). En Argentina, una gran superficie aún corresponde a sistemas cultivados con una baja densidad de plantación, menor a 180 plantas ha<sup>-1</sup>. Muchas de estas plantaciones son añosas y con cada temporada que transcurre se deben realizar mayores intervenciones sobre la copa de las plantas con mano de obra intensiva, lo que se traduce en un incremento del costo por superficie. Esta necesidad se da tanto al podar las plantas con el objetivo de rebajar su estructura; como para su cosecha, ya que el tamaño de las plantas exige el uso de escaleras y esto trae como consecuencia un mayor tiempo y costo de recolección.

Según un estudio del Consejo Oleícola Internacional (COI, 2015), a nivel mundial los costos por kilogramo de aceite en distintos sistemas productivos mostraron, para el caso de Argentina, que en un olivar tradicional (80 a 120 plantas ha<sup>-1</sup>) con riego superficial suman aproximadamente 3,70 € kg<sup>-1</sup>: repartiéndose en poda, cosecha y riego un 11 %, 47 % y 14 %, respectivamente. Para el caso de un olivar con densidades de plantación entre 180 y 800 plantas ha<sup>-1</sup> el costo alcanza los 2,50 € kg<sup>-1</sup> con una distribución de 13 %

en poda, 41 % en cosecha y un 11 % en riego. Por último, en el caso de plantaciones más intensivas (>800 plantas ha<sup>-1</sup>) los costos son de 1,43 € kg<sup>-1</sup> de aceite: repartidos en poda, cosecha y riego en una proporción de 7 %, 36 % y 14 %, respectivamente (COI, 2015; Freixa et al., 2011). Los números expuestos muestran que al pasar de sistemas con bajas densidades de plantación a mayor densidad los costos de producción disminuyen, en la cosecha en primer lugar y la poda en el segundo. Además de modificarse los porcentajes de influencia de cada labor en el costo total, probablemente algunos costos se trasladan a insumos (fertilización, curaciones, etc.).

En la década de 1990, en los principales países olivícolas del mundo, comienza una fuerte tendencia en la intensificación y tecnificación del olivar con el objetivo de reducir los costos de producción y el uso de mano de obra intensiva. Inicialmente tuvo mayor desarrollo la olivicultura en alta densidad (200 a 500 plantas ha<sup>-1</sup>), y más recientemente la olivicultura en super alta densidad (>1500 plantas ha<sup>-1</sup>). La intensificación de la densidad de plantación fue acompañada con la incorporación del riego presurizado y la posibilidad de llevar a cabo ciertas tareas de manejo (principalmente poda y cosecha) de forma semi o totalmente mecanizada (Tous, 2011; Connor et al., 2014).

Diferentes tecnologías se han desarrollado para la mecanización de la cosecha de las aceitunas, variando el principio de funcionamiento, según el destino de la fruta o el tipo de estructura y tamaño de planta. En el caso de aceitunas para conserva se pueden cosechar a través de vibradoras de tronco y mediante una lona horizontal o con forma de paraguas se recibe la fruta vibrada del árbol (Blanco-Roldán et al., 2013; Solá-Guirado et al., 2020). Los vibradores de tronco, que pueden ser autopropulsados o no, recolectan la fruta de forma discontinua. Si el destino de la fruta es la obtención de aceite, además del uso de vibradores, se han desarrollado máquinas cabalgantes que avanzan de forma continua sobre la hilera de plantación y extraen la fruta mediante bastones que sacuden la canopia. Según el ancho de calle (clave para la maniobrabilidad de la maquinaria) y el tamaño de las plantas (para una eficiente cosecha) las máquinas serán más pequeñas (tipo Vendimiadora) que permiten avanzar por espacios inferiores a 4 metros entre hileras (super alta densidad) o, máquinas de mayores dimensiones (tipo Colossus), donde la distancia entre hileras debe ser superior a los 6 metros (alta densidad) para facilitar su avance (Ferguson et al., 2010; Novello et al., 2014).

Las plantaciones en alta y super alta densidad, donde las copas de los árboles son formadas como un continuo vegetal y superponiéndose unas a otras, reciben el nombre de “seto”. En el seto se busca formar rápidamente una pared vegetal continua a lo largo de la hilera, sobre la que se desarrollen los órganos vegetativos y reproductivos de las plantas. El árbol deja de considerarse como una unidad y pasa a ser parte de dicha pared vegetal productiva (Connor et al., 2016). La poda tiene como objetivo mantener la forma y dimensiones del seto adaptadas a la cosechadora y, al ser un continuo vegetal la poda también puede realizarse mecánicamente. Teniendo en cuenta lo anterior, las podadoras empleadas pueden ser máquinas de discos de corte, barras de corte u otro tipo de cuchillas, ya sea autopropulsadas o montadas sobre tractores de media a alta potencia, que cortan las caras de los árboles y dejan un plano como resultado final (Vega et al., 2008; Ottanelli et al., 2019). Dias et al. (2012) compararon la poda mecánica vs la poda manual en plantas cosechadas con vibradoras de tronco y entre sus resultados mostraron que el rendimiento medio de ocho años fue un 20 % mayor en plantas podadas mecánicamente respecto a aquellas podadas manualmente. Además, el tiempo de vibrado no variaba entre tratamientos mecánicos respecto a los manuales.

La poda, además de mantener las dimensiones de las plantas a su espacio asignado y compatibilizarlo con el paso de la cosechadora, debe permitir suficiente iluminación sobre ambas caras del seto, permitiendo una buena penetración en profundidad de la radiación solar (Lo Bianco et al., 2021). En un estudio previo, la evaluación de 3 cultivares de olivo de origen italianos evidenció que no podar generaba, al cabo de tres años, sombreamiento y procesos de senescencia en el interior de la canopia que a futuro podrían tener consecuencias negativas sobre la producción en cantidad y calidad de aceite (Lodolini et al., 2019). La reducción de la producción asociada al sombreamiento de la canopia ha sido relacionado a una disminución de la fertilidad de yemas, a un incremento en el porcentaje de flores infértiles, a un bajo peso de aceitunas o deficiente contenido de aceite en los frutos (Dhiab et al., 2020), según el momento fenológico en que se produzca dicho sombreamiento. En frutales en general, para asegurar una buena distribución de la radiación en las partes bajas y en el interior en toda la copa, se emplea como regla práctica que la altura de la copa del seto sea similar al ancho de calle libre (i.e. distancia entre hileras menos en ancho de copa) (Connor y Gomez-del-Campo 2013; Trentacoste et al., 2017).

La principal diferencia de la poda mecanizada con respecto a la poda manual es que la poda mecánica no permite la selección del material a extraer según su calidad, tipo de órgano o ubicación en la estructura del árbol; además de existir uniformidad al momento de su ejecución (Tombesi et al., 2012). La no selectividad de la poda mecánica puede traer aparejado un desbalance entre fuentes y destinos (Rosati et al., 2018a), además de problemas de iluminación del seto, como se mencionó anteriormente, debido a la generación de múltiples puntos de crecimientos no deseados (i.e. chupones). Gran parte de los ambientes donde se ha desarrollado la olivicultura argentina se caracterizan por alta oferta energética, suelos profundos que permiten buena exploración radical y disponibilidad de agua por estar ubicados en zonas de regadío. En estos ambientes, la poda mecánica del olivar puede producir un excesivo crecimiento vegetativo y posteriores problemas en la inducción de yemas y un pobre retorno de floración (Albarracín et al., 2018), atentando con el objetivo productivo de la actividad. De allí surge la necesidad de complementar los posibles efectos negativos de la poda mecánica mediante estrategias que contengan los crecimientos vegetativos vigorosos. En esta tesis, nos enfocamos en la aplicación de riego deficitario controlado (RDC) como complemento de la poda mecánica.

En diversas especies frutales la gestión del riego tanto en la cantidad como en el momento de aplicación han sido herramientas válidas para el control del vigor vegetativo de las plantas (Chalmers et al., 1983). En olivo, sin embargo, las técnicas de restricción hídrica, han sido estudiadas principalmente con el objeto de incrementar el ahorro del recurso hídrico (Hernández-Santana et al., 2017), facilitar la concentración de aceite en frutos, disminuir el contenido de agua en el fruto o para mejorar la extracción del aceite en la industria (Grattan et al., 2006; Trentacoste et al., 2015; Ben-Gal et al., 2020; Monasterio et al., 2021), entre otros fines. En contraste, la aplicación de estrategias de riego deficitario enfocadas en el control del crecimiento vegetativo ha sido menos investigada (Trentacoste et al., 2018). En otras especies de frutales como duraznero, López et al. (2008) suprimieron totalmente el riego durante la fase II de crecimiento del fruto y observaron una paulatina reducción en la captación de la radiación incidente, concluyendo a partir de ello que es una buena opción para contener el crecimiento vegetativo; como ventaja adicional lograron ahorros de agua entre un 15 y 20 %. En manzano cv. Delicious, observaron que el RDC logró reducir el largo y el

número de brotes muy vigorosos, comparados con el testigo (Ebel et al., 1995). Hueso et al., (2021) realizaron un experimento en un olivar superintensivo en seto (cv. Arbequina) en la provincia de Toledo (España) aplicando distintos niveles de riegos deficitarios primaverales y determinaron que la elongación del brote al momento de endurecimiento de carozo estuvo relacionada cercanamente con el estado hídrico de las plantas, medido como potencial hídrico de tallo. La reducción de potencial hídrico de tallo ( $\Psi$ ) en 1 MPa produjo una reducción del 49 % en el largo del brote, aunque también disminuyó 58 % en el número de frutos y 66 % en la producción de aceite. En otro estudio realizado en Sicilia (Italia), Marra et al. (2016) observaron mayor rendimiento en la extracción de aceite en olivos (cv. Arbequina) regados en déficit explicado por menor concentración de agua en frutos. A ciertos niveles de déficit, si bien se obtenía una buena carga frutal, los crecimientos vegetativos eran pobres y se acentuaba la alternancia productiva. Rosati et al. (2018a y 2018b) observaron en los cvs. Arbequina y Frantoio, que con menor desarrollo reproductivo el área foliar se veía incrementada. Lo anterior sugiere que un estado hídrico deficitario de las plantas sumado a una pobre cantidad de puntos potenciales de producción podría limitar el desarrollo óptimo de la floración y generar canopias más grandes. También se podría esperar una mayor área foliar, ya que expusieron que el crecimiento vegetativo estaba inversamente relacionado con el desarrollo reproductivo. Trentacoste et al. (2015) en un olivar intensivo cv Frantoio en la provincia de Mendoza, observaron que la aplicación de déficit hídrico moderado condujo a una reducción del crecimiento vegetativo expresado en diámetro de tronco y volumen de copa por hectárea. En otro experimento, Trentacoste et al. (2019) en setos de olivo cv Arbosana implantados en la provincia de San Juan (Argentina) evaluaron el déficit hídrico durante primavera, observando una reducción del desarrollo de la estructura de los setos, siendo en promedio 17 cm más angostos y 30 cm más bajos respecto a los setos regados en ausencia de déficit hídrico.

Los estudios previos fueron aplicados en olivares con poda manual y basado en los resultados anteriormente expuestos, el riego deficitario controlado parece ser una herramienta interesante a evaluar como método complementario a la poda mecánica en setos de olivo para controlar el vigor vegetativo excesivo en ambientes del Oeste de Argentina. Los pocos antecedentes, en olivo, enfocados en aplicar déficit hídrico para el control del crecimiento vegetativo puede deberse a que la elongación de brotes se

concentra durante la primavera, periodo de altas pluviometría en los ambientes Mediterráneos donde se cultiva mayoritariamente el olivo.

En base a los antecedentes expuestos el **objetivo** de este experimento fue describir los efectos de estrategias de poda mecánica lateral y del déficit hídrico primaveral sobre el crecimiento vegetativo, el rendimiento y las características de aceitunas en setos de olivo cv. Arbosana, en San Juan. Para este capítulo las **hipótesis** planteadas fueron:

***H1:** Un olivar en seto manejado con poda mecánica unilateral presentará mayor producción media entre años y con menor vecería respecto de setos con poda bilateral. La poda en una sola cara permitirá mantener alta producción en las caras no podadas, lo que reducirá el crecimiento vegetativo de la cara podada. Esto reducirá el tamaño de los setos e incrementará la transmisión de radiación con la consecuente mejora en la fertilidad de las yemas y la calidad floral.*

***H2:** La aplicación de déficit hídrico primaveral en setos de olivo podados mecánicamente reducirá la elongación de brotes, el número de yemas y disminuirá la formación de chupones sobre las ramas podadas. El menor tamaño de los setos y la mejor iluminación de la copa, dado por una menor relación altura/ancho de calle libre, no compensarán la disminución de la producción debido al menor número de yemas formadas.*

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Sitio experimental**

El experimento se llevó a cabo en una finca comercial de olivos (*Olea europaea* L.) conducidos en seto, ubicada en la localidad de Cañada Honda, departamento de Sarmiento, provincia de San Juan, Argentina (32° 1' S, 68° 35' O; 610 m.s.n.m.), durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020. En la última temporada el experimento debió finalizarse el 17 de marzo debido a la cuarentena dictada por la pandemia de COVID-19. El clima del sitio es árido con precipitaciones de 130 mm anuales concentrados en verano y una temperatura media anual de 17,8 °C. El mes más cálido es enero con una temperatura media de 26,3°C y el más frío es julio con una

temperatura media de 8,6°C. El suelo es de textura arenosa entre 0 y 90 cm de profundidad, con fertilidad inicial de 509 ppm de nitrógeno, 14 ppm de fósforo, 215 ppm de potasio y escasa presencia de materia orgánica. El valor de conductividad eléctrica al inicio del experimento fue 3,1 dS m<sup>-1</sup>.

La parcela, del cv. Arbosana, fue implantada en la primavera de 2011 con un distanciamiento de 3,5 m entre hileras, orientadas Norte-Sur, y 1,75 m entre plantas (aproximadamente 1632 árboles ha<sup>-1</sup>). Desde plantación al inicio del experimento la parcela fue regada por goteo utilizando una línea de manguera con goteros insertos cada 80 cm, erogando un caudal de 2,0 L h<sup>-1</sup>. El control periódico de malezas, sanitario y la fertilización se realizó siguiendo el cronograma y métodos empleados por el productor.



**Imagen 4 (izq.) y 5 (der.).** Setos de olivo, cv Arbosana (Foto: F.J. Calderón)

## **2.2. Diseño experimental**

En invierno 2017 se seleccionó una parcela regada por una misma operación de riego de 6 hileras con 69 plantas cada una. Previo al inicio del experimento se midió la altura, el ancho de copa y el perímetro de tronco en todas las plantas de la parcela experimental. A partir de allí se eligieron las unidades experimentales, por semejanza de tamaños de planta, tanto de copa como de tronco. El diseño fue de parcelas divididas, siendo el tipo de poda la parcela principal y la estrategia de riego la secundaria. El diseño experimental tuvo un arreglo factorial de 2 tipos de poda x 2 estrategias de riego. Como resultado de las combinaciones entre los tipos de poda y estrategias de riego se

obtuvieron 4 tratamientos (explicados en sección 2.3). Cada combinación tuvo 3 repeticiones.

La unidad experimental (UE) consistió en 3 hileras contiguas de 4 plantas por cada una, utilizando las dos plantas centrales como unidad de medición y el resto como borduras (ver Esquema a continuación).



Disposición espacial unidad experimental y de medición.

## 2.3. Tratamientos aplicados

### 2.3.1. Riego

Se aplicaron y evaluaron dos tratamientos de riego, un control (CTR) en el cual las plantas fueron regadas, desde inicio de brotación (primera semana de agosto) hasta 30 días después de cosecha (fines de mayo), al 100 % de la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ). El otro tratamiento aplicado fue un riego deficitario controlado (RDC) al 45 % del CTR desde inicio de brotación (primera semana de agosto) hasta fin de endurecimiento de carozo, es decir, cuando ha ocurrido gran parte del crecimiento vegetativo. El endurecimiento de carozo finalizó el 23 de enero en 2017/2018, 16 de enero en 2018/2019 y 15 de enero en 2019/2020. A partir del fin de endurecimiento de carozo el tratamiento RDC se regó igual a CTR, hasta 30 días después de la cosecha. En CTR se utilizó una línea de goteros insertos cada 80 cm y erogando  $2,0 \text{ L h}^{-1}$  cada uno. En el tratamiento de RDC, se colocó una línea de goteros insertos de  $2,0 \text{ L h}^{-1}$  espaciados cada 187 cm. La línea de goteros fue reemplazada por otra línea de iguales características a las usadas en CTR a partir del endurecimiento de carozo. Durante el periodo invernal, los riegos se suspendieron para reducir el agua en el suelo e iniciar la siguiente temporada con valores bajos de humedad edáfica.

Para el cálculo de la Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se utilizó la fórmula propuesta por FAO 56 (Allen et al., 1998):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_r$$

Donde  $ET_0$  es la Evapotranspiración de cultivo de referencia estimada según Penman-Monteith modificada por FAO,  $K_c$  es el coeficiente de cultivo igual a 0,68 estimado en plantas jóvenes de olivo (Girona et al., 2002) y  $K_r$  es un factor de corrección según cobertura de la canopia (Ferreles et al., 1981). El  $K_r$  fue calculado como la proporción de suelo cubierta por la copa multiplicado por dos, con un límite de  $K_r = 1$  para cobertura  $> 50 \%$ . El  $K_r$  fue estimado en la primera semana de agosto (inicio de riego) y enero (fin endurecimiento de carozo). Se midió el ancho de copa en distintas plantas de la parcela y luego se calculó como  $K_r = (\text{ancho medio de seto} / \text{distancia entre hileras}) \times 2$ .

La  $ET_0$  fue estimada a partir de valores de temperatura diaria máxima y mínima y humedad relativa diaria máxima y mínima. Los datos se extrajeron de una estación meteorológica automática (Omixom Ingeniería Electrónica, Córdoba, Argentina) ubicada en la propiedad. En la estimación de la  $ET_0$  diaria se empleó el programa  $ET_0$  Calculator (FAO, 2009). En el cálculo de la lámina de riego aplicada se restó la precipitación efectiva. La precipitación efectiva ( $PE_f$ ) fue calculada a partir de la sumatoria de las precipitaciones diarias mayores a 12 mm, considerando solamente una fracción del 80 % de la lámina de la misma (debido a procesos de evaporación, pérdida en profundidad, escorrentía, entre otros). Los riegos se programaron quincenalmente, reponiendo el agua evapotranspirada. Dicha programación fue repartida en 5 días semanales por cuestiones operativas. La frecuencia y tiempos de riego fueron iguales en CTR y RDC, ya que la variación de la lámina estuvo dada por el distanciamiento de los goteros entre sí, como se detalló anteriormente.

### **2.3.2. Poda**

Se aplicaron dos estrategias de poda, un tratamiento con intervención de poda Bilateral (B) donde los setos fueron podados en ambas caras el 4 de julio en 2017, no se intervinieron en 2018 y se volvieron a podar el 16 de julio en 2019. El ancho de copa objetivo fue de 100 cm (50 cm de ambas caras). El otro tratamiento aplicado fue una

poda Unilateral (U), donde los setos fueron podados sobre la cara oeste el 4 de julio en 2017, sobre la cara este el 12 de julio en 2018 y se volvió sobre la cara oeste el 16 de julio en 2020. En el caso de la poda Unilateral el corte sobre la cara podada fue realizado a 40 cm desde la línea del tronco. En ambos tratamientos (B y U) se realizó topping en 2017 y 2019 a una altura de 290 cm desde el suelo. En 2018 no se intervino el top. En todos los casos la poda de las plantas de medición de cada UE se llevó a cabo con una cortacercos con motor a explosión (marca Stihl, modelo HS-45), que facilitó juntar y pesar el material de poda. En el caso de las borduras de cada UE, la poda se realizó posteriormente la poda con un brazo de discos de corte montado sobre un tractor.

## **2.4. Variables evaluadas**

### **2.4.1. Potencial hídrico de tallo y conductancia estomática**

El potencial hídrico de tallo ( $\Psi$ ) se midió con una cámara de presión tipo Scholander (BioControl, Buenos Aires, Argentina), entre las 13:30 y 14:30 h en días despejados. La medición se realizó según el protocolo propuesto por Moriana et al. (2012). Dos ápices de la parte inferior de cada planta de la UE se cubrieron con bolsas de polietileno recubiertas de papel aluminio 90 minutos antes de la medición. Cada ápice seleccionado tenía entre dos y tres pares de hojas sanas y totalmente expandidas. Los ápices fueron cortados por encima de la bolsa e inmediatamente colocados en la cámara de presión para proceder a su medición. El  $\Psi$  promedio se obtuvo de los dos árboles de la UE.

La conductancia estomática ( $g_s$ ) se midió con un porómetro de hoja (modelo SC-1, Decagon Devices, USA) que emplea la técnica del estado estacionario, midiendo la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja (Moriana et al., 2002). La  $g_s$  se determinó para la cara este entre las 9:30 y 11 h y en la cara oeste entre las 14 y 15:30. La medición se hizo sobre hojas adultas, totalmente desarrolladas, sanas y expuestas a la luz solar. Se realizaron cuatro mediciones por cara en la planta norte de cada UE.

### **2.4.2. Humedad de suelo**

La humedad de suelo se calculó de forma gravimétrica a partir de muestras de suelo a 3 profundidades (0 a 30 cm, 30 a 60 cm y de 60 a 90 cm) y en dos sitios (debajo de un gotero y entre dos goteros) extraídas con barrenos sacamuestras (Meridiens, Mar del Plata, Argentina). Las muestras fueron inmediatamente colocadas en pesafiltros. Se pesaron las muestras en balanza analítica, descontando la tara del pesafiltro y luego se colocaron en estufa a 105°C durante 36-48 horas, hasta peso constante. La humedad de suelo (g % g) fue determinada como:

$$\text{Humedad de suelo (g \% g)} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Se realizó un muestreo quincenal por tratamiento desde la primera semana de agosto hasta finales de mayo (poscosecha). Se calculó la media de cada uno de los tratamientos, promediando los seis valores de las diferentes posiciones y profundidades. Como la distancia entre goteros fue diferente durante la primavera, se ponderó el contenido de agua del suelo para cada parcela según el espacio sobre la hilera que ocupaba cada gotero (zona de influencia del emisor). Los factores de ponderación considerados fueron 0,75 y 0,25 para B-CTR y U-CTR y 0,32 y 0,68 para B-RDC y U-RDC, para la humedad de suelo medida debajo del emisor y entre emisores, respectivamente.

Las mediciones de  $\Psi$ ,  $g_s$  y humedad de suelo se hicieron el mismo día como herramientas de control y monitoreo de las láminas de agua aplicadas en todos los tratamientos propuestos.

#### **2.4.3. Dimensiones de seto**

Las dimensiones de seto se obtuvieron como promedio de ambas plantas centrales, en las tres temporadas. Se midieron antes de la poda, después de realizar la poda y luego de cada cosecha. La altura y el despeje de la canopia fueron medidas en tres posiciones por árbol, siguiendo el sentido de la hilera: 0,5 m hacia el norte, al centro del árbol y 0,5 m hacia el sur. El ancho del seto se midió a 0,6 m y 1,6 m de altura y en las mismas 3 posiciones utilizadas en la determinación de altura. El volumen de canopia se calculó

considerando una forma de paralelepípedo del seto. Posteriormente se estimó el ancho, altura y despeje promedio para cada UE.

#### **2.4.4. Restos de poda**

La biomasa extraída luego de cada poda de ambas plantas de la UE se pesó a campo con balanza. Los restos de poda fueron luego llevados a laboratorio donde se separaron hojas, brotes y ramas. Se pesó cada tipo de órgano y se calculó la proporción de cada uno respecto a los restos totales extraídos. A partir de una muestra de 100 hojas extraída aleatoriamente combinando todas las repeticiones se determinó el área foliar (AF) promedio. Las hojas fueron pesadas, colocadas sobre un fondo blanco y luego fotografiadas. El AF fue luego determinada utilizando el procesador de imágenes CobCal© (v 2.1; Ferrari et al., 2006). A partir del AF y el peso de las hojas se estimó el AF removida con la poda en cada tratamiento.

#### **2.4.5. Caracterización de los cortes de poda**

Luego de realizada la poda en julio de 2017, se marcaron seis cortes dejados por la máquina sobre cada cara intervenida. En julio de 2017 se marcaron los cortes sobre ambas caras en la poda Bilateral y sobre la cara podada (este) en la Unilateral. En 2018 se marcaron los seis cortes restantes en la otra cara podada (oeste) del tratamiento Unilateral. El marcado se hizo sobre ramas de dos años o más que hubiesen sido completamente cortadas por la máquina cortacerco. En cada corte se midió inmediatamente luego de la poda, el diámetro del corte principal con calibre digital. Se contó el número y midió la longitud de cada uno de los brotes de 1° y 2° orden (i.e. el brote principal y sus ramificaciones) que brotaron sobre los últimos 5 cm hacia atrás del corte. También se contaron la cantidad de nudos, largo de entrenudos como largo total de brotes/número de nudos), número de inflorescencias y número de frutos formados al cabo de dos años de realizado el corte. Esto se hizo previo a la cosecha de las temporadas 2017/2018 y 2018/2019.

#### **2.4.6. Crecimiento de brotes**

Luego de la poda se marcaron 5 brotes por cara en la planta norte de cada UE. Se seleccionaron brotes del año, bien iluminados, sanos, con ápice en buen estado y ubicados entre 1,0 y 1,8 m de altura del seto medido desde el suelo. La longitud de cada brote fue medida quincenalmente con regla graduada desde la base del brote hasta el último nudo. La longitud de los brotes laterales se midió y luego se sumó al largo del brote principal. A partir de los datos de largo de brotes se determinó la elongación total de los mismos y su tasa de crecimiento. La tasa de crecimiento de brotes se determinó como:

$$\text{Tasa de crecimiento de brotes (cm por día)} = \frac{(L2 - L1)}{(t2 - t1)}$$

Donde L2 es la longitud de brote medida en la fecha t2, posterior a la longitud L1 en la fecha t1.

#### **2.4.7. Componentes reproductivos**

En los mismos brotes en los que se midió la elongación, el 22 y 15 de agosto, en 2017 y en 2018, respectivamente se contó el número de nudos y se calculó el número de yemas (# yemas = # nudos x 2). El 22 de septiembre en 2017 y el 3 de octubre en 2018, se contó el número de inflorescencias por brote. El 17 y 20 de noviembre, en 2017 y en 2018, respectivamente, se determinaron el número de frutos por brote y las inflorescencias que presentaban al menos un fruto. Estas observaciones se utilizaron para calcular el total de yemas desarrolladas en brotes de 1 año de edad, el largo medio de entrenudos, el porcentaje de yemas desarrolladas con inflorescencias, el porcentaje de inflorescencias con al menos un fruto (porcentaje de infrutescencias) y el número de frutos cuajados por infrutescencia. El 6 y el 3 de octubre en 2018 y 2019, respectivamente, se determinó la densidad floral contando el número de inflorescencias incluidas dentro de un cubo hueco de aristas metálicas de 20 x 20 x 20 cm (8000 cm<sup>3</sup>). Se realizaron 6 mediciones al azar en la copa de la planta norte en cada UE.

#### **2.4.8. Estructura y calidad floral**

La estructura de las inflorescencias y calidad floral fue determinada a partir de 30 inflorescencias extraídas al azar de las plantas borduras de cada una de las repeticiones. El muestreo se realizó el 22 y 26 de octubre en 2017 y en 2018, respectivamente, cuando las inflorescencias presentaban alrededor del 80 % de sus flores abiertas. En cada inflorescencia se midió la longitud, el número de nudos, el número de flores totales y el número de flores perfectas (i.e. flores con el pistilo desarrollado). El porcentaje de flores perfectas por inflorescencia fue luego calculado. Las fechas de plena floración en las tres temporadas fueron el 22, 26 y 18 de octubre en el 2017, 2018 y 2019, respectivamente.

#### **2.4.9. Producción, componentes del rendimiento y características de los frutos**

La cosecha se realizó manualmente el 2 y el 6 de mayo en 2018 y en 2019, respectivamente. Se llevó a cabo recolectando y pesando a campo con balanza los frutos de cada cara de las dos plantas de la UE. Se separó una muestra de 1 kg de frutos por cara y UE, para llevarla a laboratorio y realizar las mediciones posteriores. La producción fue expresada en kg por cara y por planta entera sumando el peso de las aceitunas recolectada en ambas caras del árbol.

##### **2.4.9.1. Peso de fruto y número de frutos**

A partir de una submuestra de 100 aceitunas de cada cara de los setos cosechados se determinó el peso fresco (PF) y el peso seco (PS) de los frutos. Para ello se pesaron en fresco los frutos en balanza analítica (0,001 g de precisión) y luego se llevaron a estufa a 65°C hasta peso constante (PS). La humedad de fruto (%) fue calculada como:

$$\text{Humedad de fruto (\%)} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{\text{PF}} \times 100$$

El número de frutos por cara fue estimado como el cociente entre la producción y el peso fresco de los frutos.

### 2.4.9.2. Índice de madurez

El índice de madurez (IM) se midió en una submuestra de 100 frutos, clasificando cada fruto en una escala del 0 al 7 según la coloración de la piel y pulpa propuesta por Úceda y Frías (1975):

- 0: epidermis verde intenso o verde oscuro.
- 1: epidermis amarilla o verde amarillento.
- 2: epidermis amarillenta, manchas o zonas rojizas, en menos de la mitad de la aceituna.
- 3: epidermis rojiza o violeta claro, en más de la mitad del fruto.
- 4: epidermis negra y pulpa totalmente blanca.
- 5: epidermis negra y pulpa violeta hasta la mitad de la misma.
- 6: epidermis negra y pulpa violeta en más de la mitad del fruto, pero sin llegar al carozo.
- 7: epidermis negra y pulpa totalmente oscura, hasta llegar al carozo.

Se agruparon las aceitunas según la escala anterior, luego se sumaron las cantidades en cada categoría y se calculó el IM:

$$IM = \frac{Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7}{N^{\circ} \text{ total de frutos}}$$

**A, B, C, D, E, F, G y H:** corresponden a la cantidad de frutos por cada nivel de madurez.

**1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7:** correspondientes al grado de madurez del fruto.

### 2.4.9.3. Relación pulpa/carozo

Una submuestra de 50 frutos se utilizó para determinar relación pulpa/carozo. Los frutos fueron pesados y descarozados manualmente. Los carozos se limpiaron, se secaron exteriormente a temperatura ambiente por 24 h y luego se pesaron en fresco. La relación pulpa/carozo fue luego determinada como:

$$\text{Relación pulpa/carozo} = \frac{\text{Peso fresco fruto} - \text{Peso fresco carozo}}{\text{Peso fresco carozo}}$$

#### 2.4.9.4. Contenido de aceite

La concentración de aceite de los frutos se determinó siguiendo el método propuesto por Avidan et al. (1999). Se molieron 20 g de aceituna descarozada en un molinillo de café y se pesaron en balanza analítica (con precisión de 0,001 g a 0,0001 g) tres submuestras de 5 g de pasta. La pasta fue colocada en estufa a 65 °C hasta peso constante (entre 48 y 72 h). Pasado ese tiempo, la pasta seca se trituroó manualmente en mortero de cerámica, se trasvasó a un tubo de ensayo con 15 ml de éter de petróleo, se tapó y dejó macerando en agitador (180 rpm) durante 12 h en oscuridad. Posteriormente, la mezcla de pasta y solvente se filtró en vacío a un tubo previamente tarado. Durante el filtrado se enjuagó el tubo y el papel de filtro con 5 ml de éter de petróleo, para lavar restos de materia grasa. Los tubos con el solvente y aceite se colocaron en (65°C) para evaporar el solvente remanente, hasta peso constante. La concentración de aceite fue determinada con el promedio de las tres determinaciones como:

$$\text{Concentración aceite (\% materia fresca o seca)} = \frac{[\text{Peso total (tubo + aceite)} - \text{Tara tubo}]}{\text{Peso pulpa fresca o seca}} \times 100$$

Los valores se expresaron como porcentaje en peso fresco (PF) y en peso seco (PS).

Para el caso de peso fresco, peso seco, humedad de frutos, índice de madurez, relación pulpa/carozo y concentración de aceite a nivel de planta entera se utilizaron los promedios ponderados, por el número de frutos en cada cara de los setos.

El índice de vecería fue calculado según Monselise y Goldschmidt (1982), como:

$$\text{Índice de Vecería} = \frac{1}{n-1} \times \left( \frac{R2 - R1}{R2 + R1} + \frac{R3 - R2}{R3 + R2} + \dots + \frac{Rn - Rn-1}{Rn + Rn-1} \right)$$

Donde “n” es el número de años y “R” son los rendimientos obtenidos en kg de fruta en cada año “n”.

#### 2.5. Análisis estadístico

Se empleó ANOVA para evaluar el efecto de los tratamientos de Poda-Riego, de las caras y el efecto temporada según cada variable respuesta medida. Las medias fueron comparadas mediante test LSD Fisher para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . En el caso de variables medidas en los cortes de poda se utilizó el test no paramétrico Kruskal-Wallis ya que dichos datos poseían una distribución no-normal. Se emplearon los softwares estadísticos Infostat (versión 2020, Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), R Studio (RStudio Team, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com>) y R-Medic (Mangeaud y Elías Panigo, 2018). La relación entre el incremento de brotes y la densidad de inflorescencias fue analizada por regresión bilineal con el software GraphPad Prism versión 5.01 (San Diego, CA).

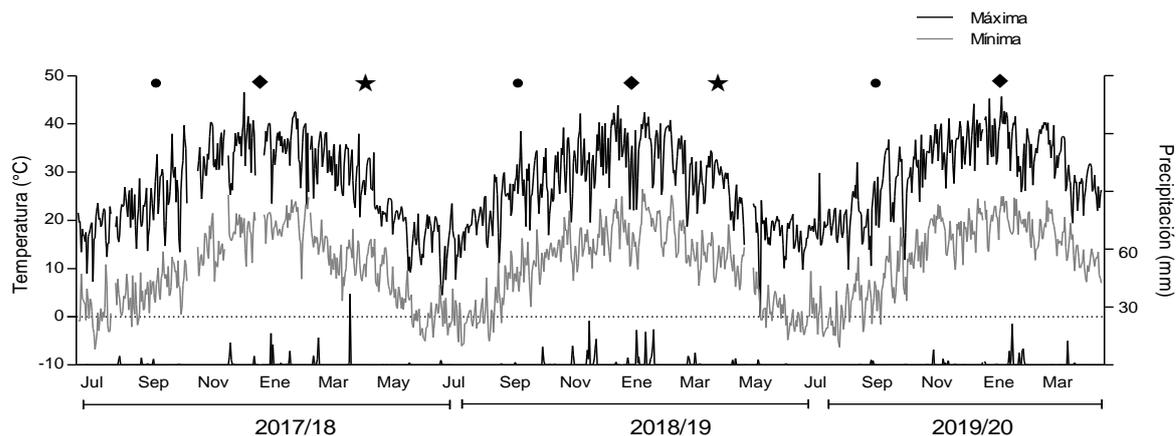
### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Condiciones ambientales**

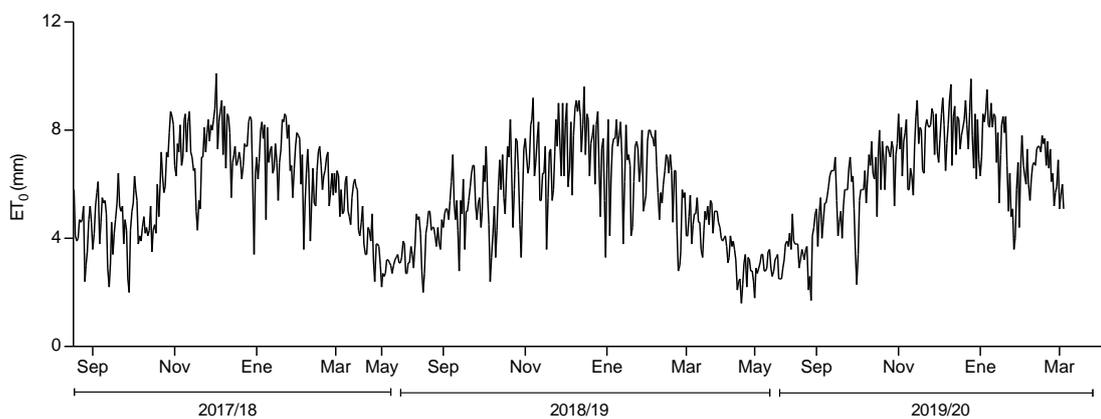
En la Figura 4.1A se presentan las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones ocurridas en los tres periodos en que se desarrolló el experimento. Las temperaturas medias entre agosto (brotación) y mayo (cosecha) (i.e. periodo considerado aquí como temporada de crecimiento) fueron de 20,9°C en 2017/2018 y 20,2°C en 2018/2019 y 21,9°C en 2019/2020. La temperatura mínima observada fue -6,8 °C (18 de julio) en la temporada 2017/2018, -5,3 °C (20 de julio) en 2018/2019 y -6,4 °C (8 de agosto) en la temporada 2019/2020. La temperatura máxima registrada fue de 46,6 °C (16 de diciembre) en la temporada 2017/2018, 43,8 °C (28 de diciembre) en 2018/2019 y 45,7 °C (18 de enero) en 2019/2020. La precipitación acumulada entre agosto y mayo fue 145 mm durante la temporada 2017/2018, 199 mm durante la temporada 2018/2019 y en tanto, la temporada 2019/2020 fue la más seca y sólo precipitaron 99 mm. En las tres temporadas, las precipitaciones se concentraron entre los meses de diciembre y marzo.

En el Cuadro 4.1 se presentan los valores evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) calculados para cada temporada. La primera temporada presentó la  $ET_0$  más baja (1373

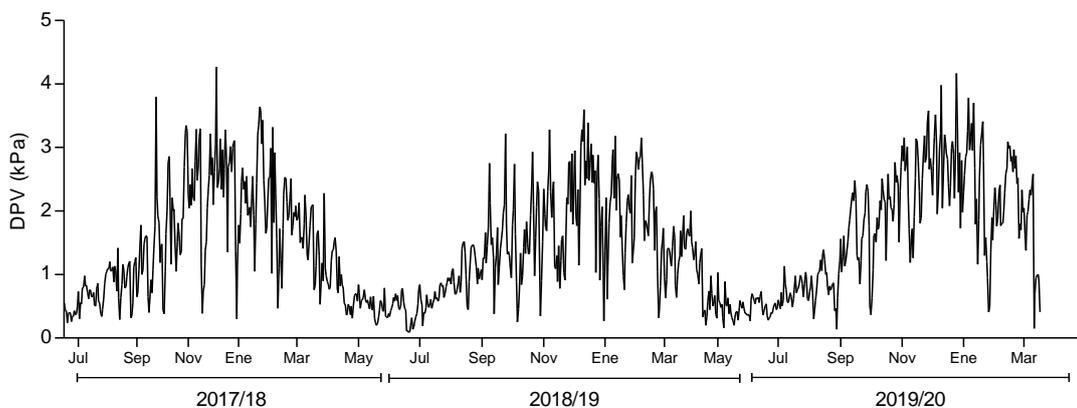
mm) y en la siguiente temporada la  $ET_0$  más alta (1515 mm). La última temporada mostró un valor intermedio de  $ET_0$  (1414 mm). En la Figura 4.1B se presenta la  $ET_0$  diaria en cada temporada, donde se observaron valores más bajos en la temporada inicial (2017/2018) y la temporada 2019/2020 valores más altos. En la Figura 4.1C se presentan los valores del déficit de presión de vapor (DPV) diarios, para el sitio donde se desarrolló el experimento. Los valores promedios de los dos meses más demandantes (i.e. diciembre y enero) fueron 2,24 kPa en 2017/2018, 2,03 kPa en 2018/2019 y de 2,60 kPa en 2019/2020.



**Figura 4.1A.** Temperatura ambiente mínima y máxima y precipitaciones (barras) registradas durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020 en el sitio experimental (Cañada Honda, San Juan, Argentina). Símbolos en la parte superior indican las etapas fenológicas de inicio de brotación (círculo relleno), fin de elongación de brotes (rombo relleno) y cosecha (estrella rellena) medidas en los setos de olivo cv. Arbosana.



**Figura 4.1B.** Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020 en el sitio donde se encuentra la parcela experimental (Cañada Honda, San Juan).



**Figura 4.1C.** Déficit de presión de vapor (DPV) durante el periodo en que se desarrolló el experimento, en Cañada Honda, San Juan.

**Cuadro 4.1.** Duración del ciclo completo de riego y de los periodos 1 (desde inicio de brotación a endurecimiento de carozo) y 2 (desde endurecimiento de carozo a 30 días luego de cosecha). Lámina de riego aplicada en cada periodo en setos de olivos cv Arbosana podados mecánicamente y bajo dos estrategias de riego: Control (100 % de la  $ET_c$  durante todo el ciclo de riego) y RDC (45 % de la  $ET_c$  durante el periodo 1 e igual al Control en periodo 2), en San Juan, Argentina. CTR: Control, RDC: Riego Deficitario Controlado,  $ET_0$ : Evapotranspiración de referencia,  $ET_c$ : evapotranspiración del cultivo, PEF: precipitación efectiva.

Temporada	Riego	Duración ciclo riego (días)	$ET_0$ (mm)	$ET_c$ (mm)	PEf (mm)	Lámina aplicada (mm)		
						Periodo 1	Periodo 2	Total
2017/2018	CTR	229	1373	452	43	267	197	464
	RDC					107	197	304
2018/2019	CTR	277	1515	477	49	301	206	507
	RDC					121	206	327
2019/2020	CTR	259	1414	486	11	368	136	503
	RDC					164	136	300

### 3.2. Agua aplicada

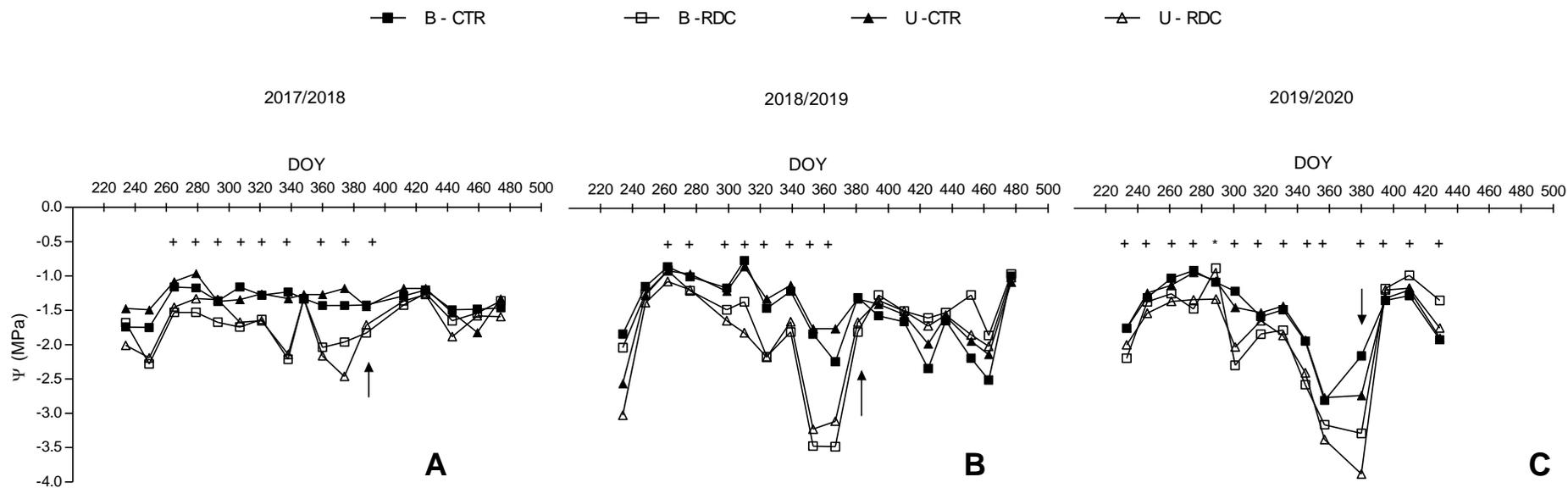
En el Cuadro 4.1, se pueden observar los datos calculados de evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y la precipitación efectiva (PEf). La duración total del ciclo de riego fue de 229 días (desde el 1 de septiembre al 18 de abril) en la temporada 2017/2018, 277 días (del 1 de agosto al 5 de mayo) en 2018/2019 y 259 días (del 1 de agosto al 16 de abril) en 2019/2020. El denominado periodo 1, corresponde al lapso donde se aplicaron los riegos deficitarios, el cual finalizó a mediados de enero y tuvo una duración de 144, 168 y 167 días en las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, respectivamente. El periodo 1 representó, en promedio, el 63 % de la duración total del ciclo de riego.

Las láminas de agua aplicadas en los tratamientos B-CTR y U-CTR estuvieron próximas a los valores de  $ET_c$  calculada, y sólo se excedieron en un 3 %, 6 % y 4 % en las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, respectivamente. Las láminas de agua aplicadas en los tratamientos B-RDC y U-RDC durante el periodo 1 representaron, respecto de la lámina aplicada en los tratamientos con riego control (B-CTR y U-CTR), el 40 % en 2017/2018 y 2018/2019 y un 45 % en la temporada 2019/2020. Estos valores estuvieron cercanos a los niveles de déficit propuestos inicialmente (i.e. 45 %). En cuanto al ahorro de agua alcanzado durante toda la temporada en los tratamientos que recibieron RDC en comparación al CTR y con ambas estrategias de poda fue del 34 %, 35 % y 40 % en 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, respectivamente.

### 3.3. Estado hídrico del árbol y del suelo

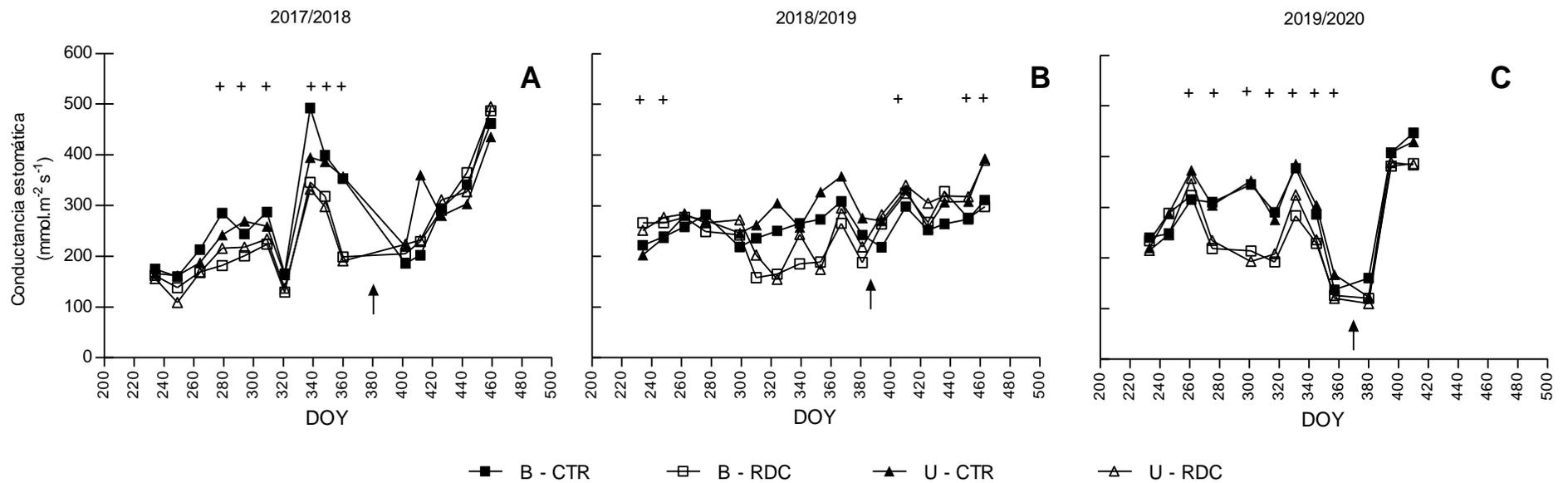
En las tres temporadas evaluadas, los tratamientos evaluados presentaron similar patrón de estado hídrico. Desde inicio de temporada y a medida que avanzaba la misma, los tratamientos B-CTR y U-CTR tuvieron potenciales hídricos de tallo ( $\Psi$ ) más altos que los tratamientos B-RDC y U-RDC (Fig. 4.2). Las diferencias en el  $\Psi$  se mantuvieron hasta que todos los tratamientos recibieron la misma lámina de riego (flechas negras en Fig. 4.2). En la temporada 2017/2018 (Fig. 4.2A), el  $\Psi$  de los tratamientos B-CTR y U-CTR varió en el rango de -1,0 a -1,5 MPa y fueron consistentemente más altos durante todo el periodo 1 que el  $\Psi$  de los tratamientos B-RDC y U-RDC, que fue de -2,0 MPa. Una excepción ocurrió el 14 de diciembre (DOY 348, en Fig. 4.2A) cuando se produjo una

precipitación que elevó el  $\Psi$  de los tratamientos B-RDC y U-RDC a valores similares a los árboles B-CTR y U-CTR. En los momentos de mayor déficit los tratamientos B-RDC y U-RDC llegaron a valores mínimos de -2,5 MPa. En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.2B) el  $\Psi$  al inicio del experimento fue de -2,2 MPa para B-CTR y U-CTR y de -2,5 MPa para B-RDC y U-RDC, en promedio; aunque el  $\Psi$  aumentó rápidamente con el inicio de los riegos. El  $\Psi$  en los árboles B-CTR y U-CTR disminuyó desde -1,0 MPa hasta -1,9 MPa a principios de enero, luego se mantuvo en un promedio de -2,0 MPa hasta cosecha. En los tratamientos B-RDC y U-RDC durante el periodo 1, el  $\Psi$  disminuyó desde -1,0 MPa a mediados de agosto hasta -3,2 MPa al finalizar el periodo 1. A partir del endurecimiento de carozo (i.e. inicio del periodo 2), el  $\Psi$  de los tratamientos U-RDC y B-RDC incrementó hasta valores próximos a los tratamientos B-CTR y U-CTR. En la última temporada 2019/2020 (Fig. 4.2C) el  $\Psi$  de los tratamientos B-CTR y U-CTR tuvo valores iniciales (en agosto) de -1,5 MPa, en promedio, llegando a final del periodo 1 con valores promedio de -2,4 MPa (Fig. 4.2C). Entre los días 11 de diciembre (DOY 345) y 15 de enero (DOY 380) hubo una disminución marcada del  $\Psi$  en todos los tratamientos debido a cortes en el suministro de energía eléctrica que imposibilitaron el bombeo del agua desde la perforación. Posteriormente, se compensó el agua faltante de ese lapso de tiempo. En los tratamientos B-RDC y U-RDC los  $\Psi$  disminuyeron desde -1,7 MPa al inicio de la temporada (agosto) hasta -3,5 MPa al final del periodo 1 de déficit, observándose valores significativamente más bajos que los registrados en los tratamientos B-CTR y U-CTR. Luego del endurecimiento de carozo (fin de la restricción hídrica) y hasta mediados de marzo ( $\approx$ DOY 440) los tratamientos B-RDC y U-RDC se acercaron a los valores de  $\Psi$  de los tratamientos con B-CTR y U-CTR (-1,2 MPa vs -1,4 MPa, respectivamente). Los valores más negativos de  $\Psi$  en la última temporada pueden ser explicados al mayor déficit de presión de vapor (DPV) que caracterizó a la temporada 2019/2020 (Fig. 4.1C). Como resumen, el  $\Psi$  en los periodos 1 de cada temporada, promedio para los tratamientos regados RDC y CTR fueron de -1,8 y -1,3 MPa en 2017/2018; -1,9 y -1,3 MPa en 2018/2019 y -1,9 y -1,5 MPa para 2019/2020, respectivamente.



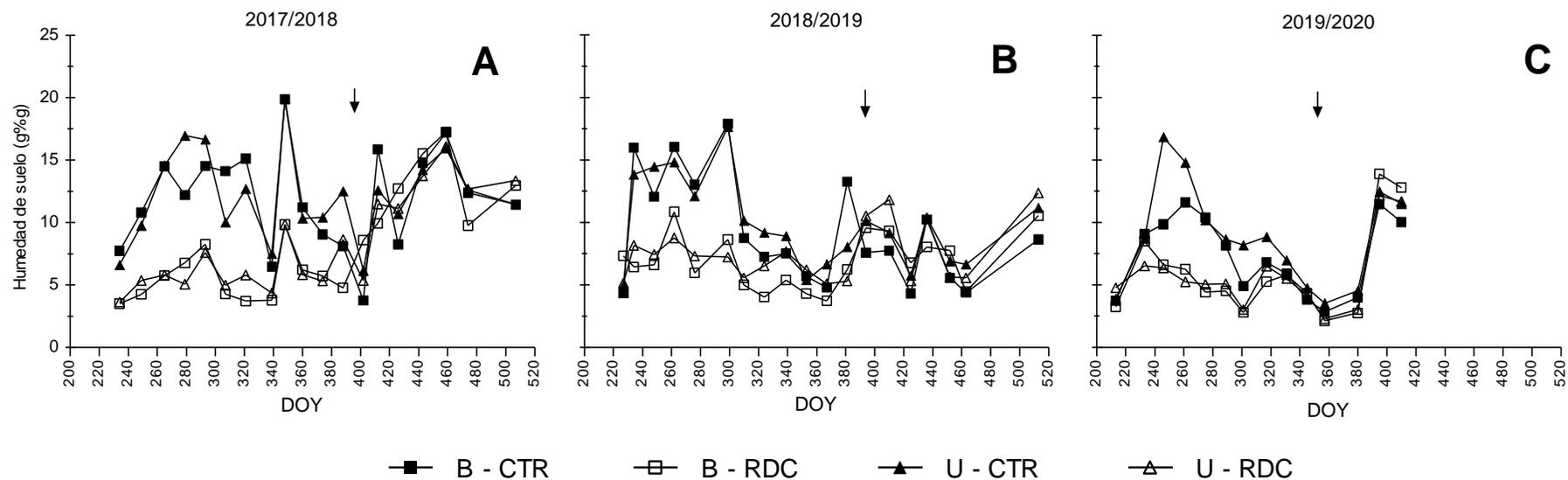
**Figura 4.2.** Dinámica del potencial hídrico de tallo ( $\Psi$ ) en plantas de olivo cv Arbosana sometidas a dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en las temporadas 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. Los signos “+” se presentan cuando hay diferencias significativas entre tratamientos en cada fecha, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

La conductancia estomática ( $g_s$ ) en la temporada 2017/2018 desde el 22 de agosto no se diferenció entre los tratamientos B-CTR y U-CTR respecto de B-RDC y U-RDC midiéndose valores de  $181 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en promedio (Fig. 4.3A). A partir de mediados de octubre ( $\approx$ DOY 288) y hasta principios de enero ( $\approx$ DOY 366) los tratamientos con B-CTR y U-CTR mostraron valores de  $355 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , significativamente más alto que B-RDC y U-RDC, con valores promedio de  $195 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A partir de endurecimiento de carozo a fines de enero ( $\approx$ DOY 380) y hasta cosecha ( $\approx$ DOY 475), las diferencias no fueron significativas entre tratamientos (Fig. 4.3A), incrementado la  $g_s$  desde  $208 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  hasta  $450 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en promedio de todos los tratamientos. En la temporada 2018/2019, las diferencias en  $g_s$  entre tratamientos no fueron tan evidentes como en la temporada anterior (Fig. 4.3B). Solamente entre fines de agosto ( $\approx$ DOY 240) y la primera semana de septiembre ( $\approx$ DOY 245) los tratamientos B-RDC y U-RDC presentaron  $g_s$  promedio de  $265 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , significativamente más alta que en los tratamientos B-CTR y U-CTR que mostraron valores promedio de  $225 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A partir de la tercera semana de septiembre ( $\approx$ DOY 260) y hasta endurecimiento de carozo ( $\approx$ DOY 380) la  $g_s$  fue similar entre tratamientos y no varió marcadamente, siendo el promedio de todos los tratamientos de  $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Fig. 4.3B). Desde endurecimiento de carozo y hasta los primeros días de marzo ( $\approx$ DOY 425) hubo diferencias, mostrando a B-CTR la  $g_s$  más baja de los cuatro tratamientos ( $256 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en promedio). Los tratamientos B-RDC y U-RDC estuvieron levemente por encima de  $297 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Fig. 4.3B). La temporada 2019/2020 mostró un patrón similar a lo observado en 2017/2018, con diferencias más evidentes entre los tratamientos B-CTR y U-CTR vs B-RDC y U-RDC (Fig. 4.3C) a partir de octubre. A partir de principios de octubre ( $\approx$ DOY 275) y hasta mediados de diciembre ( $\approx$ DOY 350; Fig. 4.3C), la  $g_s$  fue significativamente más alta en los tratamientos B-CTR y U-CTR ( $313 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que en B-RDC y U-RDC ( $210 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). A partir de endurecimiento de carozo no hubo diferencias entre tratamientos y los valores de  $g_s$  fueron de  $404 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , siendo los más altos de esa temporada (Fig. 4.3C).



**Figura 4.3.** Conductancia estomática en plantas de olivo cv Arbosana, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en tres temporadas: 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. Los signos “+” se presentan cuando hay diferencias entre tratamientos en cada fecha, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

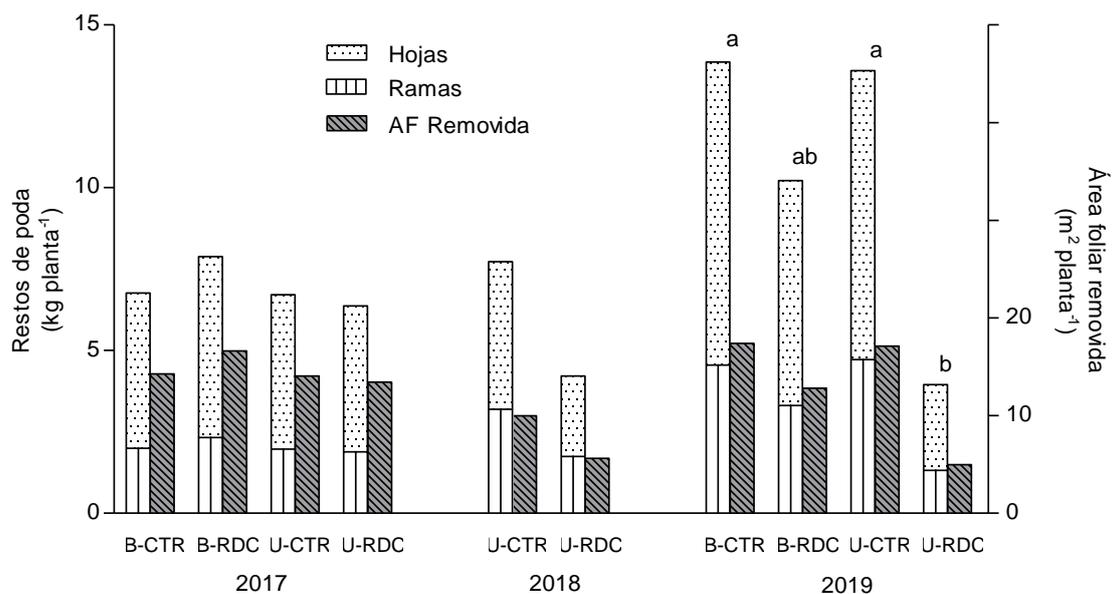
La humedad edáfica no fue sometida a análisis estadístico ya que se muestreó solo un punto por tratamiento y se utilizó como control de los riegos junto al  $\Psi$  y la  $g_s$ . Como se observa en la Figura 4.4, los patrones de humedad de suelo fueron diferentes entre tratamientos con B-CTR y U-CTR vs B-RDC y U-RDC desde el inicio de la temporada de riego ( $\approx$ DOY 230, agosto) hasta endurecimiento de carozo (DOY 388, 381 y 380 en 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, respectivamente). En la primera temporada (Fig. 4.4A) la humedad de suelo inició alrededor de los 2,6 g%g en B-RDC y U-RDC y los 7,5 g%g para B-CTR y U-CTR. A medida que fue avanzando la temporada la humedad fue incrementando en los tratamientos B-CTR y U-CTR hasta valores en el rango de 12 y 15 g%g. En contraste los tratamientos B-RDC y U-RDC mostraron un rango de humedad de 5,0 a 7,5 g%g (Fig. 4.4A). A partir de endurecimiento de carozo los tratamientos presentaron similares humedades variando entre 14 y 17 g%g. En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.4B), también se observaron dos patrones diferentes para los tratamientos B-RDC y U-RDC respecto a B-CTR y U-CTR. Ambos, B-RDC y U-RDC iniciaron la temporada con humedades edáficas de 7,5 g%g, y luego variaron en el rango 4,5 y 10 g%g hasta endurecimiento de carozo. Los tratamientos B-CTR y U-CTR iniciaron con 5 g%g de humedad de suelo, luego subieron marcadamente para variar en el rango de 7,5 g%g a 17 g%g. Cuando todos los tratamientos comenzaron a regarse con igual lámina de riego, las humedades de suelo fueron similares y en el rango 7,5 y 12,5 g%g. En la última temporada, Figura 4.4C, desde inicio de temporada y hasta endurecimiento de carozo, la humedad de suelo entre tratamientos mostró una separación según el riego recibido. Todos los tratamientos iniciaron la temporada con humedades cercanas a 4 g%g. Luego B-CTR y U-CTR mostraron humedades en el rango de 5 a 12,5 g%g hacia endurecimiento de carozo. Por el otro lado, los tratamientos B-RDC y U-RDC mantuvieron estable la humedad, similar a la inicial y en momentos fue más baja con valores alrededor de los 6 g%g. A partir de endurecimiento de carozo y hasta cosecha los cuatro tratamientos presentaron similares valores de humedad y pasaron en pocas semanas de 4 g%g hasta los 12 g%g.



**Figura 4.4.** Humedad de suelo, durante tres temporadas 2017/2018 (A), 2018/2019 (B) y 2019/2020 (C) en un seto cv Arbosana con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en San Juan, Argentina. Las flechas indican el fin del periodo del riego deficitario en los tratamientos RDC (inicio de endurecimiento de carozo), a partir de esa fecha todos los tratamientos se regaron igual. En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

### 3.4. Biomasa de poda y formación de brotes en cortes de poda

Los restos de biomasa fresca extraídos luego de la poda se presentan en la Figura 4.5. La biomasa extraída no fue significativamente afectada por los tratamientos estudiados en los años 2017 y 2018, registrando valores promedio entre tratamientos de 6,9 y 5,9 kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente. En contraste, en el año 2019, la poda de los tratamientos B-CTR y U-CTR produjo mayor biomasa fresca (13,7 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio) que la biomasa de poda del tratamiento U-RDC (3,9 kg planta<sup>-1</sup>). El tratamiento B-RDC (10,2 kg planta<sup>-1</sup>) fue intermedio y no se diferenció de los otros tres tratamientos. En los restos de la poda realizada en 2017, la proporción de hojas y ramas fue similar entre tratamientos y en promedio del 70,5 % y 29,5 %, respectivamente. En 2018, siendo las podas en U-CTR y U-RDC las únicas realizadas, las proporciones fueron no diferentes entre ambos tratamientos y con valores promedio de 58,8 % de hojas y 41,2 % de ramas. En 2019, la poda realizada en los todos tratamientos tampoco influyó sobre la proporción de órganos en los restos de poda, siendo el promedio del total de biomasa un 66 % hojas y 34 % ramas. Cuando la biomasa de hojas en los restos de poda fue expresada como área foliar (AF), tampoco se observaron diferencias entre los cuatro tratamientos en los años 2017 y 2018, siendo de 14,6 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup> y de 7,8 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 4.5). En 2019, sin embargo, en los restos de poda de los tratamientos B-CTR y U-CTR se observó una mayor AF extraída con 17,3 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, intermedio y sin diferencias se ubicó B-RDC con 12,8 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>; por último, en el tratamiento U-RDC se extrajo la menor AF (4,9 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>).



**Figura 4.5.** Restos de poda (en fresco) extraídos de plantas de olivo, cv. Arbosana, podadas mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_C$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_C$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y riego al 100 % de  $ET_C$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y riego al 45 % de  $ET_C$ ) en los años 2017, 2018 y 2019, en San Juan, Argentina. Letras distintas se presentan cuando hay diferencias significativas entre tratamientos para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ .

Los cortes generados a partir de la poda mecánica presentaron similares diámetros (6,05 mm, en promedio) en todos los tratamientos (Tabla 4.2). La cantidad de brotes generados en los cortes luego de la poda tampoco mostró diferencias entre tratamientos, contándose 2,7 brotes por corte. En contraste, la suma total del largo de brotes fue significativamente afectado por los tratamientos, siendo en U-CTR donde se observó el mayor largo total de brotes con 111,2 cm, seguido de B-CTR con 65,7 cm. El largo total de brotes desarrollados en los cortes fue similar en ambos tratamientos B-RDC y U-RDC (42,8 cm, en promedio) significativamente más bajo que los tratamientos U-CTR y B-CTR. El número de nudos totales por corte mostró similar tendencia, más alto en U-CTR con 56,1 nudos por corte, intermedio en B-CTR (40,6 nudos corte<sup>-1</sup>) y más bajo en B-RDC y U-RDC (31,2 nudos corte<sup>-1</sup>, en promedio). El largo medio de entrenudos en los brotes formados en los cortes del tratamiento U-CTR fue el más largo con 1,89 cm y los otros tres tratamientos no se diferenciaron entre sí (1,45 cm, en promedio) y fueron menores a U-CTR. En cuanto al número de inflorescencias totales por corte no hubo diferencias entre tratamientos (3,7 inflorescencias corte<sup>-1</sup>, en promedio). Por último, la cantidad de frutos por corte mostró diferencias entre tratamientos, siendo B-CTR el tratamiento con el mayor número frutos (3,4 frutos corte<sup>-1</sup>), significativamente más alto a lo observado en U-CTR y U-RDC con 1,5 frutos corte<sup>-1</sup>, en promedio. Intermedio y sin diferencias con los otros tres tratamientos se ubicó B-RDC (2,4 frutos corte<sup>-1</sup>).

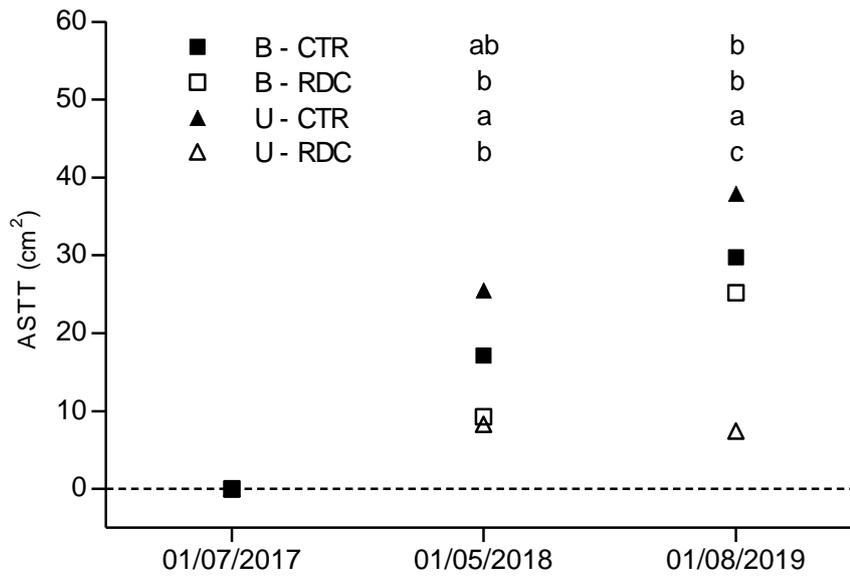
**Tabla 4.2.** Respuesta vegetativa en los cortes de poda mecánica invernal al cabo de 2 años de su realización, en setos de olivo cv. Arbosana en San Juan. Se evaluaron dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>c</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>c</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>c</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>c</sub>).

Tratamiento	Diámetro del corte (mm)	Brotos totales (# corte <sup>-1</sup> )	Largo total de brotes (cm)	Nudos totales (# corte <sup>-1</sup> )	Largo de entrenudos (cm)	Inflorescencias totales (# corte <sup>-1</sup> )	Frutos totales (# corte <sup>-1</sup> )
B - CTR	5,60	2,5	65,7 b	40,6 ab	1,62 b	4,1	3,4 a
B - RDC	5,57	2,6	43,4 c	31,3 b	1,40 b	7,6	2,4 ab
U - CTR	6,47	3,1	111,2 a	56,1 a	1,89 a	1,9	1,4 b
U - RDC	6,58	2,7	42,3 c	31,2 b	1,33 b	1,1	0,7 b

Letras distintas son presentadas cuando se observaron diferencias significativas entre tratamientos para test de Kruskal-Wallis con  $P \leq 0,05$ .

### 3.5. Crecimiento de tronco y dimensiones de los setos

El área sección transversal de tronco (ASTT) presentó similar valor entre tratamientos al inicio del experimento, y luego fue significativamente afectada por la aplicación de tratamientos (Fig. 4.6). Al finalizar la primera temporada, el tratamiento U-CTR mostró el mayor incremento de ASTT ( $25,5 \text{ cm}^2$ ), B-RDC y U-RDC los más bajos ( $8,8 \text{ cm}^2$ , en promedio), mientras B-CTR fue intermedio ( $17,1 \text{ cm}^2$ ) y no diferente estadísticamente del resto. Durante la segunda temporada, el incremento del ASTT continuó siendo más alto en el tratamiento U-CTR, alcanzando  $37,9 \text{ cm}^2$  al final del experimento. En contraste, el tratamiento U-RDC condujo a un ASTT de  $7,4 \text{ cm}^2$ , significativamente más bajo que el resto de tratamientos. B-CTR y B-RDC presentaron similar incremento del ASTT a lo largo de todo el experimento, registrando promedios de  $27,5 \text{ cm}^2$  al final de la segunda temporada.



**Figura 4.6.** Incremento del área de sección transversal de tronco (ASTT) en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ) en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina. Letras distintas son presentadas cuando hay diferencias significativas entre tratamientos, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . El orden de las letras es según la leyenda de la figura.

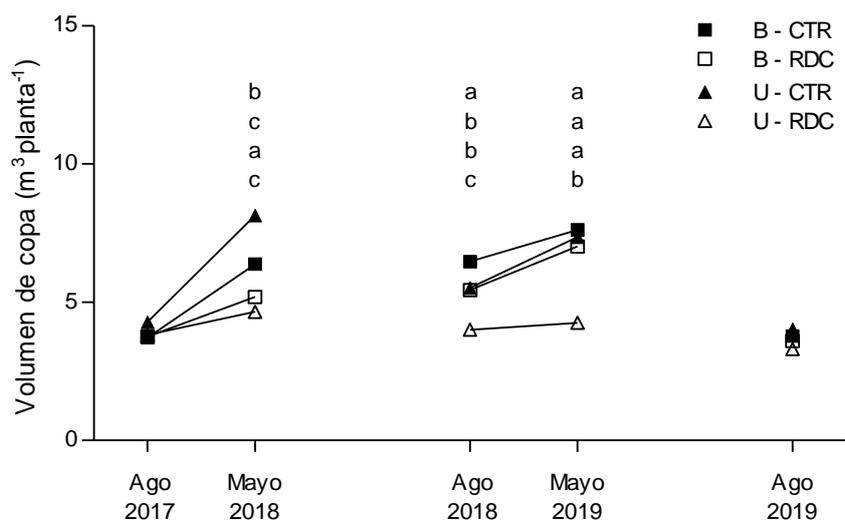
Las dimensiones de los setos, luego de realizada la poda, mostraron diferencias en altura entre tratamientos (Tabla 4.3). B-CTR y U-CTR tuvieron una altura de 2,77 m, en promedio; 2,58 m las plantas B-RDC y 2,47 m en U-RDC. En cosecha B-CTR y U-CTR mostraron alturas promedio de 3,53 m, intermedio en B-RDC (3,15 m) y más bajo en U-RDC (2,59 m). Los anchos de seto pospoda (Tabla 4.3) no evidenciaron diferencias entre los tratamientos B-CTR, B-RDC y U-CTR (0,97 m, en promedio) a excepción de U-RDC con menor ancho (0,88 m). En cosecha, los setos U-CTR fueron los más anchos (1,23), intermedio en B-CTR y B-RDC (1,10 m, en promedio) y U-RDC fueron los setos más estrechos (0,94 m). La Relación A/CL en pospoda (Tabla 4.3) fue menor en U-RDC (0,93), intermedia en B-RDC (1,01) y en B-CTR y U-CTR fue mayor (promedio = 1,08). En cosecha la menor Relación A/CL se observó en U-RDC (1,06), intermedia en B-RDC (1,33) y mayor en B-CTR y U-CTR (promedio = 1,55). Entre temporadas, los mayores valores de altura, ancho y Relación A/CL pospoda se observaron en la temporada 2018/2019: 3,20 m, 0,97 m y 1,17, respectivamente (Tabla 4.3). Con valores menores y sin diferencias entre sí se ubicaron las temporadas 2017/2018 y 2019/2020: 2,32 m de altura, 0,94 m de ancho y una Relación A/CL promedio de 0,90. En cosecha, hubo diferencias entre las temporadas 2017/2018 y 2018/2019, siendo los setos de la primera 46 cm más bajos, 7 cm más angostos y con una Relación A/CL más pequeña (0,15 de diferencia). En la temporada 2019/2020 no pudieron medirse las dimensiones de los setos en cosecha (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3.** Dimensiones de seto de olivos cv Arbosana medidas en dos momentos del ciclo (pospoda y cosecha). Los setos fueron sometidos a dos estrategias de poda mecánica invernal y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ) durante las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, en San Juan, Argentina.

Fuente de variación	Dimensiones de seto					
	Pospoda			Cosecha		
	Altura (m)	Ancho (m)	Relación A/CL	Altura (m)	Ancho (m)	Relación A/CL
Tratamiento (T)						
B - CTR	2,73 c	0,98 b	1,08 c	3,51 c	1,11 b	1,51 c
B - RDC	2,58 b	0,96 b	1,01 b	3,15 b	1,09 b	1,33 b
U - CTR	2,82 c	0,96 b	1,09 c	3,55 c	1,23 c	1,60 c
U - RDC	2,47 a	0,88 a	0,93 a	2,59 a	0,94 a	1,06 a
Año (A)						
2017/2018	2,35 a	0,95 ab	0,92 a	3,04 a	1,13 b	1,30 a
2018/2019	3,20 b	0,97 b	1,17 b	3,50 b	1,06 a	1,45 b
2019/2020	2,29 a	0,92 a	0,89 a	s/d	s/d	s/d
p-valor						
T x A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0278	<0,0001	0,0331

A/CL: relación altura/ancho de calle libre. Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . s/d: sin datos.

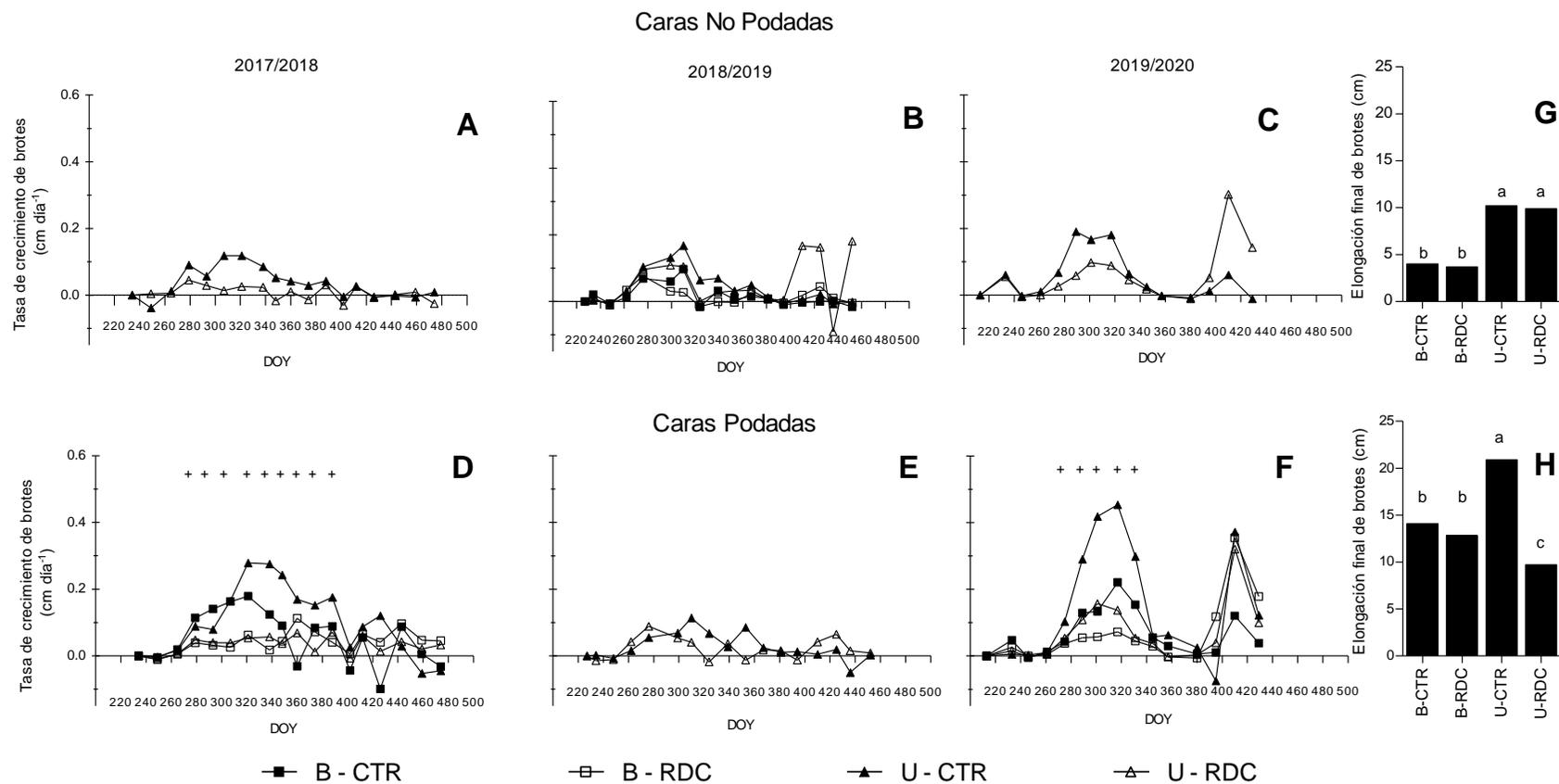
En la Figura 4.7 se presenta la evolución del volumen de copa. Se partió de plantas sin diferencias entre sí (datos no mostrados en Fig. 4.7), siendo el promedio del volumen de copa de  $10,5 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$  al inicio del experimento. En agosto de 2017, luego de realizada la poda en los setos, no hubo diferencias entre tratamientos siendo el volumen promedio de  $3,9 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ . En mayo de 2018, al momento de cosecha hubo diferencias entre volúmenes de copa, los tratamientos B-RDC y U-RDC registraron los menores volúmenes ( $4,92 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ , en promedio), intermedio fue el volumen de las plantas B-CTR con  $6,38 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$  y mayor volumen las plantas del tratamiento U-CTR ( $8,15 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ ). En agosto de 2018, sólo fueron sometidos a poda los setos U-CTR y U-RDC, en consecuencia, el volumen de los setos varió entre tratamientos. El tratamiento U-RDC tuvo  $4,01 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$  siendo el de menor volumen. Los tratamientos U-CTR y B-RDC fueron intermedios y sin diferencias entre sí ( $5,58 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ , en promedio). El mayor volumen se midió en B-CTR con  $6,67 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ . Luego de la cosecha en mayo de 2019, no se observaron diferencias en el volumen de seto de los tratamientos B-CTR, B-RDC y U-CTR con un valor promedio de  $7,30 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ . El único tratamiento que se diferenció fue U-RDC, con  $4,25 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ . En U-RDC el volumen de copa se mantuvo relativamente constante a lo largo de todo el experimento, como se aprecia en la Figura 4.7. En agosto de 2019, luego que se realizara la poda tanto unilateral como bilateral, el volumen de copa fue similar entre tratamientos ( $3,68 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$ , en promedio).



**Figura 4.7.** Dinámica del volumen de copa medido luego de la poda (agosto) y en cosecha (mayo), en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en San Juan, Argentina. Letras diferentes fueron presentadas cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos, para cada momento, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . El orden de las letras es según la leyenda de la figura.

### 3.6. Crecimiento de brotes

La tasa de crecimiento de los brotes seleccionados, en las caras no podadas, durante las tres temporadas no mostró diferencias entre tratamientos (Fig. 4.8A, 4.8B y 4.8C). En la temporada 2017/2018 (Fig. 4.8A), las caras no podadas fueron las de los tratamientos U-CTR y U-RDC, observándose promedios de  $0,02 \text{ cm día}^{-1}$  con picos de  $0,12 \text{ cm día}^{-1}$  entre principios y mediados de noviembre ( $\approx \text{DOY } 305\text{-}320$ ). En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.8B), las caras no podadas fueron ambas caras de los tratamientos B-CTR y B-RDC y la otra cara de U-CTR y U-RDC, el promedio de crecimiento fue de  $0,03 \text{ cm día}^{-1}$ . Hubo dos momentos de valores máximos: alrededor de  $0,09 \text{ cm día}^{-1}$  entre fines de octubre ( $\approx \text{DOY } 303$ ) y principios de noviembre ( $\approx \text{DOY } 306$ ) y otro pico a mediados de febrero ( $\approx \text{DOY } 410$ ) con un promedio de  $0,05 \text{ cm día}^{-1}$ . En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.8C), las caras no podadas fueron las de tratamientos U-CTR y U-RDC, observándose tasas de crecimiento promedios de  $0,06 \text{ cm por día}^{-1}$ . Se registraron dos máximos en la tasa de crecimiento de brotes: uno desde mediados de octubre ( $\approx \text{DOY } 288$ ) a mediados de noviembre ( $\approx \text{DOY } 319$ ) con un valor medio de  $0,13 \text{ cm día}^{-1}$ , y otro a mediados de febrero ( $\approx \text{DOY } 410$ ) con un promedio de  $0,18 \text{ cm día}^{-1}$ .



**Figura 4.8.** Tasa de crecimiento de brotes, tanto de caras no podadas (A, B y C) como podadas (D, E y F). Figuras G (caras no podadas) y H (caras podadas) muestran la elongación de brotes final promedio, en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ) en tres temporadas (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020), en San Juan, Argentina. Los signos “+” o letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . En el eje de fechas se le sumaron 365 días al 1° de enero.

La tasa de crecimiento de brotes seleccionados sobre las caras podadas fue significativamente afectada por los tratamientos en 2017/2018 y en 2019/2020, pero no en 2018/2019 (Fig. 4.8D, 4.8E y 4.8F). En 2017/2018 (Fig. 4.8D), las caras podadas fueron las de los tratamientos B-CTR y B-RDC y una sola cara de U-CTR y U-RDC. Los brotes de las caras podadas de los tratamientos B-CTR y U-CTR mostraron mayor tasa de crecimiento de brotes, respecto a los brotes de las caras podadas de B-RDC y U-RDC desde principios de octubre ( $\approx$ DOY 274) a fines de enero ( $\approx$ DOY 395). Durante ese periodo las tasas máximas de crecimiento de los tratamientos B-CTR y U-CTR fueron de  $0,21 \text{ cm día}^{-1}$  y de  $0,05 \text{ cm día}^{-1}$  en B-RDC y U-RDC. A partir de fines de enero ( $\approx$ DOY 395) y hasta cosecha ( $\approx$ DOY 490) las tasas fueron disminuyendo y no se evidenciaron diferencias entre tratamientos. En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.8E), las caras podadas fueron solamente las de los tratamientos U-CTR y U-RDC, los cuales no se diferenciaron entre sí. La tasa de crecimiento de ambos tratamientos tuvo un patrón similar con un promedio de  $0,02 \text{ cm día}^{-1}$ . Durante octubre ( $\approx$ DOY 374 a 304) se evidenciaron máximos de  $0,07 \text{ cm día}^{-1}$ , muy por debajo de las otras dos temporadas. En la temporada 2019/2020 (Fig. 4.8F) las caras podadas fueron las de tratamientos B-CTR y B-RDC y una de las caras de los tratamientos U-CTR y U-RDC. Se observaron diferencias entre los tratamientos B-CTR y U-CTR respecto a B-RDC y U-RDC desde mediados de septiembre ( $\approx$ DOY 258) hasta fines de noviembre ( $\approx$ DOY 334). En dicho periodo se observó un máximo de  $0,37 \text{ cm día}^{-1}$  en el tratamiento U-CTR. En promedio para ese periodo se evidenciaron tasas de  $0,22 \text{ cm día}^{-1}$  en B-CTR y U-CTR y de  $0,08 \text{ cm día}^{-1}$  en B-RDC y U-RDC. A mediados de febrero ( $\approx$ DOY 410) se produjo un máximo de  $0,29 \text{ cm día}^{-1}$ , promedio entre tratamientos.

El largo de brotes acumulado (Fig. 4.8G y 4.8H), evidenció diferencias entre tratamientos según si la cara era una podada o no podada. En las caras no podadas (Fig. 4.8G) la elongación acumulada fue de  $3,8 \text{ cm}$  para B-CTR y B-RDC, en promedio y de  $10,1 \text{ cm}$  para U-CTR y U-RDC, en promedio; es decir que las diferencias aquí fueron por tipo de poda y no por régimen de riego aplicado. En el caso de las caras podadas (Fig. 4.8H) también hubo diferencias, la elongación final acumulada fue de  $9,7 \text{ cm}$  para U-RDC, siguieron B-CTR y B-RDC, sin diferencias entre sí con  $13,5 \text{ cm}$  y por último y mayor elongación se ubicó U-CTR con  $20,9 \text{ cm brote}^{-1}$ .

### **3.7. Desarrollo reproductivo**

En la Tabla 4.4 se presentan los componentes reproductivos medidos en brotes seleccionados en distintas posiciones de la canopia de los setos. Los incrementos finales del largo de brotes con flores (11 cm, en promedio), el número de nudos por brote (9 nudos brote<sup>-1</sup>, en promedio) y del largo de entrenudos (1,27 cm, en promedio) no fueron significativamente diferentes entre tratamientos. El porcentaje de yemas florales, de inflorescencias fértiles y el número de frutos por brote tampoco variaron de manera significativa entre tratamientos, siendo en promedio 6,6 %, 14,9 % y 1,3 frutos brote<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabla 4.4.** Componentes reproductivos en plantas de olivo cv Arbosana podados mecánicamente, en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>c</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>c</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>c</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>c</sub>), en 2017/2018 y 2018/2019 en San Juan, Argentina.

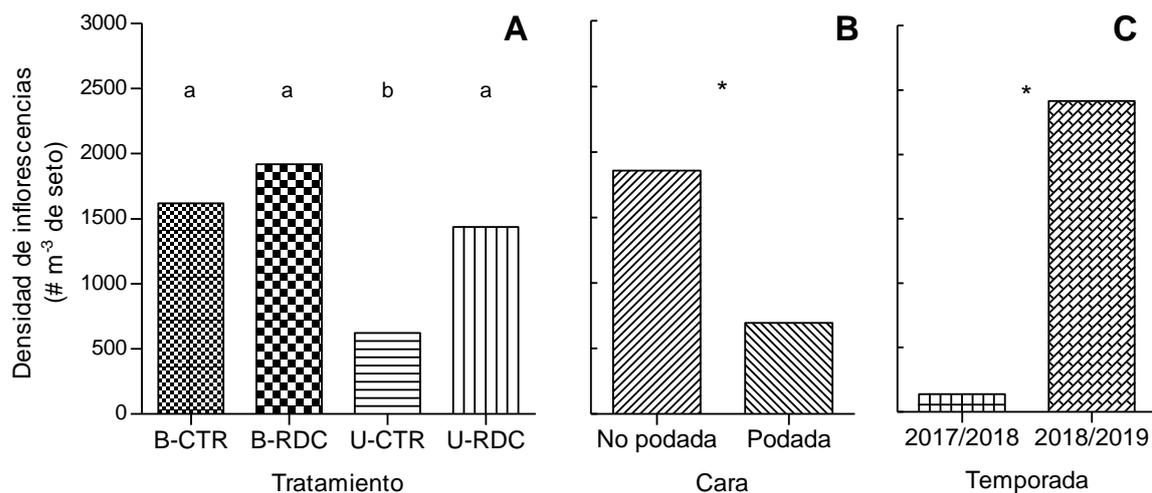
Fuente de variación	Elongación de brotes (cm)	Nudos (# brote <sup>-1</sup> )	Largo de entrenudos (cm)	Yemas florales (%)	Inflorescencias fértiles (%)	Frutos (# brote <sup>-1</sup> )
Tratamiento (T)						
B-CTR	11,9	9,1	1,34	5,1	13,2	1,4
B-RDC	11,2	9,2	1,29	7,8	13,4	1,1
U-CTR	10,8	8,3	1,30	4,7	13,4	1,2
U-RDC	10,3	8,6	1,18	8,7	19,9	1,3
Cara (C)						
No podada	11,3	9,4 a	1,21	11,8 a	13,3	1,9
Podada	10,5	8,0 b	1,31	1,4 b	17,7	0,6
Año (A)						
2017/2018	8,9 b	6,6 b	1,34 a	2,2 b	15,9	0,3
2018/2019	12,8 a	10,8 a	1,19 b	10,9 a	15,1	2,2
p-valor						
T x A	0,4694	0,8567	0,0871	0,1659	0,3857	0,6971

Letras distintas son presentadas cuando se observaron diferencias significativas entre fuentes de variación para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ .

Cuando se comparó el desarrollo reproductivo de brotes seleccionados entre caras podadas y no podadas, se observó que el porcentaje de yemas florales fue más alto en las caras podadas que en los brotes de las caras no podadas (11,8 % vs 1,4 %, respectivamente). De esa totalidad de yemas florales, el porcentaje de inflorescencias fértiles fue de alrededor de un 15 % promedio, sin diferenciarse entre caras podadas y no podadas (Tabla 4.4). El número de frutos por brote no fue diferente entre caras podadas y no podadas.

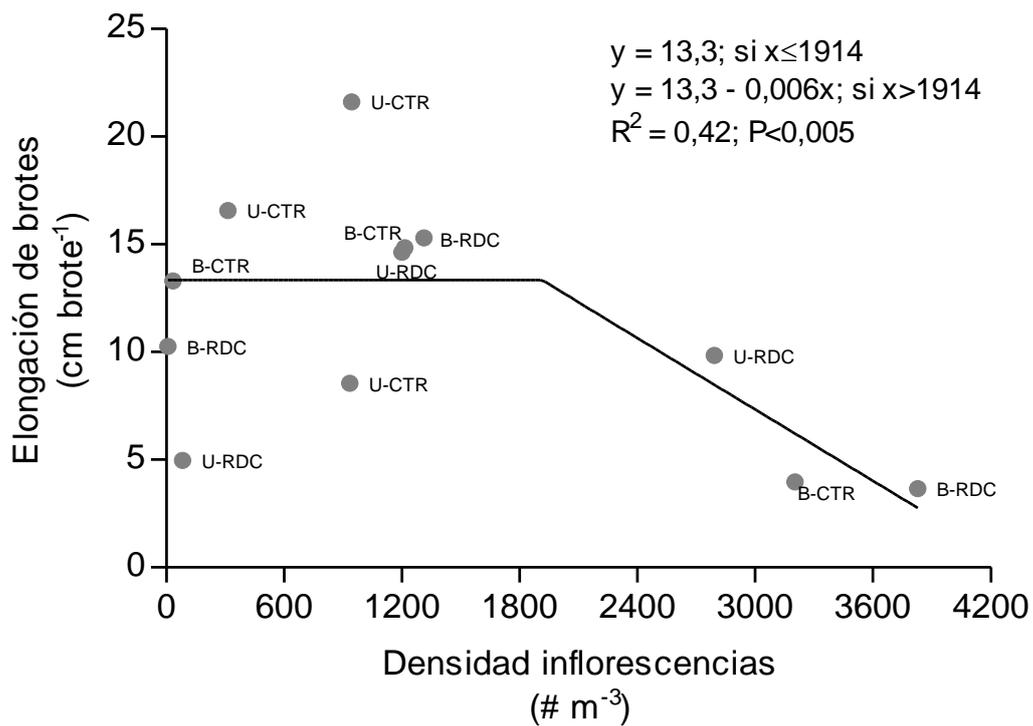
Al comparar entre años, la temporada 2017/2018 tuvo un porcentaje de yemas florales del 2,2 % notablemente más bajo que el 11 % observado en la temporada 2018/2019 (Tabla 4.4). El porcentaje de inflorescencias fértiles no se diferenció entre temporadas (15,5 %, en promedio). El número de frutos por brote no fue diferente entre temporadas.

La densidad de inflorescencias (Fig. 4.9A) se vio fuertemente reducida en el tratamiento U-CTR (623 inflorescencias  $m^{-3}$  de seto) respecto de los otros tres tratamientos, que tuvieron un promedio de 1657 inflorescencias  $m^{-3}$  de seto. Al comparar entre caras (Fig. 4.9B), aquellas no podadas tuvieron una densidad de inflorescencias un 167 % mayor que en las caras podadas. En la Figura 4.9B el promedio de la densidad de inflorescencias en caras no podadas incluyó la media de una de las caras de U-CTR y U-RDC de los años 2017 y 2018 y ambas caras de los tratamientos B-CTR y B-RDC en 2018. Inversamente sucedió para las caras podadas en el mismo año. Entre temporadas (Fig. 4.9C), se observó un incremento de 139 inflorescencias  $m^{-3}$  en 2017/2018 a 2414 inflorescencias  $m^{-3}$  en 2018/2019.



**Figura 4.9.** Densidad de inflorescencias, por Tratamiento (A), por Cara (B) y por Temporada (C), en olivos cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina. Letras distintas o asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre fuentes de variación para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ .

En la Figura 4.10, se presenta la relación entre el incremento en el largo de brotes y la densidad de inflorescencias. El incremento de los brotes fue alto y estable cuando hubo una baja densidad floral, en el rango de 0-1914 inflorescencias  $m^{-3}$ . Luego de dicho valor, el incremento en el largo de los brotes disminuyó linealmente con el aumento de la densidad de inflorescencias contadas ( $R^2 = 0,42$ ;  $P < 0,005$ ).



**Figura 4.10.** Relación entre la elongación de brotes y la densidad de inflorescencias, en setos de olivo cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en tres temporadas (2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020), en San Juan, Argentina.

### 3.8. Estructura de las inflorescencias

Las características o estructura de las inflorescencias y la calidad de las flores se presentan en la Tabla 4.5. Entre tratamientos, los setos manejados con el tratamiento U-CTR tuvieron las inflorescencias más largas (29,1 mm) y con el mayor número de flores (16,9 flores inflorescencia<sup>-1</sup>). Los tratamientos B-CTR y B-RDC fueron intermedios con inflorescencias de longitud promedio de 27,4 mm y 15,5 flores inflorescencia<sup>-1</sup>. En setos U-RDC las inflorescencias fueron las más cortas (25,8 mm) y con el menor número de flores (14 flores inflorescencia<sup>-1</sup>). El porcentaje de flores perfectas también fue afectado, donde los setos U-CTR y U-RDC presentaron un porcentaje de flores perfectas del 62 % en promedio, significativamente más alto que los setos B-CTR (48,4 %) y B-RDC (54,4 %), que también fueron diferentes entre sí. Entre temporadas, en 2017/2018 las inflorescencias fueron más largas, con menos flores por inflorescencia, con un 75,4 % de flores fértiles que en la temporada 2018/2019 (Tabla 4.5).

**Tabla 4.5.** Estructura de las inflorescencias en plantas de olivo cv Arbosana podados mecánicamente en invierno, con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de  $ET_c$ ), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de  $ET_c$ ), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de  $ET_c$ ) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de  $ET_c$ ), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina.

Fuente de variación	Longitud de inflorescencias (mm)	Flores totales (# infloresc <sup>-1</sup> )	Flores perfectas (# infloresc <sup>-1</sup> )	Flores perfectas (%)
Tratamiento (T)				
B - CTR	26,9 b	15,7 b	6,8 c	48,4 c
B - RDC	27,9 b	15,3 b	8,0 b	54,4 b
U - CTR	29,1 a	16,9 a	10,0 a	60,2 a
U - RDC	25,8 c	14,0 c	8,4 b	63,9 a
Año (A)				
2017/2018	27,9 a	14,1 b	10,6 a	75,4 a
2018/2019	27,0 b	16,9 a	6,0 b	38,0 b
p-valor				
T x A	0,0005	0,0696	<0,0001	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas, para test LSD Fisher con un  $P \leq 0,05$ .

### 3.9. Producción y componentes del rendimiento

La producción de aceitunas por planta fue significativamente más alta en el tratamiento B-CTR que fue 19 y 64 % más productivo que U-CTR y que ambos B-RDC y U-RDC, respectivamente (Tabla 4.6). Los setos U-CTR fueron un 37 % más productivos que los tratamientos B-RDC y U-RDC que presentaron la producción de aceitunas más baja con 7,7 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio (Tabla 4.6). La producción de aceite por planta fue un 50 % más alta en B-CTR que en el resto de los tratamientos evaluados. Los setos U-CTR presentaron similar producción de aceite que los setos U-RDC, con un promedio de 1,75 kg planta<sup>-1</sup>. La menor producción de aceite se observó en los tratamientos B-RDC y U-RDC, que no se diferenciaron entre sí (1,45 kg planta<sup>-1</sup>, en promedio), como se ve en la Tabla 4.6. El número de frutos por planta siguió un patrón similar a la producción de aceitunas, B-CTR presentó la mayor cantidad con 9528 frutos planta<sup>-1</sup>, seguido por U-CTR que tuvo un 28,5 % menos y en último lugar se ubicaron las plantas de B-RDC y U-RDC que tuvieron un 115 % menos de frutos que B-CTR, en promedio (Tabla 4.6).

**Tabla 4.6.** Producción de aceitunas y de aceite, número de frutos, contenido de aceite y otras características a nivel de planta entera y por caras, en olivos cv Arbosana podados mecánicamente con dos estrategias de poda y dos estrategias de riego: B – CTR (Poda bilateral año por medio y riego al 100 % de ET<sub>c</sub>), B – RDC (Poda bilateral año por medio y riego al 45 % de ET<sub>c</sub>), U – CTR (Poda unilateral en años alternos y regados al 100 % de ET<sub>c</sub>) y U – RDC (Poda unilateral en años alternos y regados al 45 % de ET<sub>c</sub>), en dos temporadas (2017/2018 y 2018/2019), en San Juan, Argentina.

Fuente de variación	Producción de aceitunas (kg planta <sup>-1</sup> )	Producción de aceite (kg planta <sup>-1</sup> )	Número de frutos (# planta <sup>-1</sup> )	IM	PF (g fruto <sup>-1</sup> )	PS (g fruto <sup>-1</sup> )	Humedad de fruto (%)	Relación pulpa/ carozo	Concentración de aceite en PF (%)	Concentración de aceite en PS (%)	Índice de Vecería
Tratamiento (T)											
B - CTR	12,6 a	2,4 a	9528 a	1,18 b	1,96 b	0,73 b	61,5	5,8 b	16,3	50,5	0,86
B - RDC	6,9 c	1,3 c	3757 c	1,46 a	2,30 a	0,87 a	62,0	6,4 a	16,0	50,9	0,85
U - CTR	10,6 b	1,9 b	7413 b	1,16 b	1,89 b	0,70 b	62,1	5,8 b	15,3	48,5	0,76
U - RDC	8,5 c	1,6 bc	5067 c	1,17 b	2,20 a	0,84 a	61,3	6,3 a	16,6	51,1	0,84
Cara (C)											
No podada	14,1 a	2,6 a	9439 a	1,15 b	1,92 b	0,74 b	62,5 b	5,8 b	17,0 a	52,1 a	0,74
Podada	5,2 b	0,9 b	3310 b	1,28 a	2,23 a	0,82 a	61,0 a	6,4 a	15,0 b	48,1 b	0,84
Año (A)											
2017/2018	1,7 b	0,2 b	654 b	1,29 a	2,61 a	0,95 a	63,9 a	6,6 a	13,2 b	44,8 b	-
2018/2019	17,6 a	3,3 a	12096 a	1,14 b	1,53 b	0,61 b	59,6 b	5,5 b	18,7 a	55,4 a	-
p-valor											
T x A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	02526	0,0315	0,3964	0,0032	0,1902	0,1844	-

Letras distintas indican diferencias significativas para test de LSD Fisher con  $P \leq 0,05$ . IM: Índice de Madurez. PF: Peso Fresco. PS: Peso Seco.

Comparando entre caras se observó una marcada diferencia productiva entre ellas. Las caras no podadas concentraron el 73 % de la producción de frutos y de aceite a nivel de planta entera. Entre años, la temporada 2017/2018 fue 10 veces menos productiva que 2018/2019. En la producción de aceite la diferencia también fue marcada, siendo la temporada 2017/2018 la menos productiva con 0,2 kg aceite planta<sup>-1</sup> comparado con la temporada 2018/2019 que tuvo 3,3 kg aceite planta<sup>-1</sup> (Tabla 4.6). El índice de vecería (Tabla 4.6) no fue diferente entre tratamientos y fue en promedio de 0,83.

### **3.10. Características de los frutos**

Las características medidas en los frutos (peso, relación pulpa/carozo, índice de madurez y la concentración de aceite) fueron significativamente afectadas por los tratamientos, con excepción de la humedad de los frutos (Tabla 4.6). Los frutos recolectados de los setos B-CTR y U-CTR fueron más pesados (en fresco y en seco) que los frutos recolectados de setos B-RDC y U-RDC. La relación P/C fue más baja en los setos B-CTR y U-CTR (promedio = 5,80) que en B-RDC y U-RDC (promedio = 6,35). Los frutos del tratamiento B-RDC presentaron en cosecha una madurez significativamente más avanzada (IM = 1,46) que el resto de los otros tratamientos (IM promedio = 1,17). La concentración de aceite en fresco (PF) y seco (PS) no fue significativamente diferente entre tratamientos, siendo los promedios de 16,0 % y de 50,3 %, respectivamente.

Los frutos cosechados de caras no podadas fueron un 16 % y 4 % más livianos en PF y PS, respectivamente, con una menor madurez y menor relación P/C, al compararlos con frutos recolectados de las caras podadas. Los frutos de las caras no podadas tuvieron un 2 % más concentración de aceite en PF y mayor humedad respecto a los frutos recolectados de las caras podadas (Tabla 4.6).

Entre temporadas también hubo diferencias en las características de los frutos. En 2017/2018 los frutos fueron un 70 % más pesados (en PF), tuvieron mayor humedad y madurez que en 2018/2019. En contraste, en la temporada 2017/2018 los frutos presentaron menor concentración de aceite en PF y PS (Tabla 4.6).

## **4. DISCUSIÓN**

#### 4.1. Estado hídrico del cultivo

La lámina de riego entregada en los setos control (B-CTR y U-CTR) fue cercana al 100 % de la  $ET_c$  calculada, según lo planteado en la metodología. En las temporadas 2017/2018 y 2018/2019, los controles fueron regados 6,7 % y 3,7 % por encima del 100 % de la  $ET_c$  calculada, respectivamente. En la última temporada sólo 1,2 % por debajo de la  $ET_c$  calculada (Cuadro 4.1).

Los  $\Psi$  mostraron un promedio para ambos tratamientos con riego control de -1,4 MPa, -1,5 MPa y -1,9 MPa en las temporadas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020, respectivamente. Los valores medidos en los tratamientos B-CTR y U-CTR fueron similares a los observados por Moriana et al. (2012) para olivares intensivos en España, regados en ausencia de déficit hídrico. El  $\Psi$  promedio durante el periodo 1 en plantas sometidas a los tratamientos con riego deficitario (U-RDC y B-RDC) (Fig. 4.2) fue de -1,87 MPa, significativamente más bajos que los tratamientos U-CTR y B-CTR. Finalizada la restricción y regándose todos los tratamientos igual, se midió un  $\Psi$  promedio de -1,45 MPa. Valores de  $\Psi$  de -1,90 MPa promedio para el periodo de déficit (primavera) han sido asociados en estudios previos en olivo como déficit hídrico leve a moderado (Moriana et al., 2012; Trentacoste et al., 2015). Hueso et al. (2021) observaron que durante floración con un  $\Psi$  por debajo de -1,71 MPa, la producción de aceite se reducía a la mitad. En el estudio de Moriana et al. (2012) observaron reducción del crecimiento vegetativo con  $\Psi$  de -2,0 MPa. Trentacoste et al. (2015), en un estudio realizado en la provincia de Mendoza en olivo cv Frantoio regado con dos niveles, observaron que el tratamiento que mantuvo los árboles con  $\Psi$  alrededor de -1,65 MPa durante la primavera, presentó una reducción significativa del crecimiento vegetativo comparado con árboles cuyo riego durante la primavera mantuvo el  $\Psi$  cercano a -1,30 MPa.

La conductancia estomática en B-RDC y U-RDC respecto de B-CTR y U-CTR durante 2017/2018 y 2019/2020 (Fig. 4.3 A y C) fue un 45 % y 33 % menor, y fue similar entre tratamientos durante 2018/2019 (Fig. 4.3B). En estas dos temporadas las diferencias en la conductancia estomática se evidenciaron durante el periodo de restricción hídrica (principios de octubre: DOY 274 a fines de diciembre: DOY 360), en correspondencia con el periodo donde el olivo presenta el mayor crecimiento vegetativo. En la temporada 2018/2019 (Fig. 4.3B) las diferencias en conductancia estomática entre tratamientos

fueron ocasionales, posiblemente debido a que el DPV (Fig. 4.1C), fue menor que las otras dos temporadas.

#### **4.2. Respuestas en el crecimiento vegetativo a diferentes estrategias de poda mecánica y regímenes de riego**

En el caso de los restos de poda no hubo diferencias entre tratamientos, hasta el tercer año. En ese año se diferenciaron U-RDC de B-CTR y U-CTR, extrayéndose de estos últimos 9,8 kg más de biomasa por planta. B-RDC fue intermedio y no se diferenció de ninguno de los otros tres tratamientos (Fig. 4.5). U-RDC mostró una tendencia, aunque numérica, a disminuir los restos de poda. Dicha comparación entre el tratamiento U-RDC con los dos regados al 100 % de la  $ET_c$ , evidencian parcialmente la influencia del déficit hídrico de primavera sobre la reducción del crecimiento vegetativo durante la temporada previa a la intervención mecánica. Similares resultados fueron observados por Martínez-Gimeno et al. (2021) en Alicante (España) evaluando un olivar superintensivo cv Arbequina sin restricción hídrica y dos niveles de déficit hídrico, regados 22 % y 64 % del control desde poda hasta endurecimiento de carozo. Los autores encontraron que el peso de los restos de poda disminuyó significativamente con el aumento del nivel de restricción hídrica aplicada.

Los efectos del déficit hídrico de primavera sobre la biomasa extraída durante la poda estuvieron en correspondencia con las mediciones de tasa de crecimiento en los brotes marcados. En la misma línea, en nuestro estudio la tasa de crecimiento de los brotes ubicados sobre caras podadas en los tratamientos deficitarios fue más baja durante el periodo en que los setos con riego deficitario presentaron  $\Psi < -2,0$  MPa (Fig. 4.8), esto fue significativo solo en los años de baja carga, como lo fueron el 2017 y 2019. En un trabajo reciente, Shackel et al. (2021) determinaron para el periodo de primavera un umbral de  $\Psi$  (-2,0 MPa) por debajo del cual el crecimiento vegetativo del olivo se ve fuertemente reducido. En correspondencia con nuestro estudio, Hueso et al. (2021) evaluando la aplicación de déficit hídrico de primavera en olivares superintensivos, cv Arbequina en Toledo (España), observaron una importante reducción en la tasa de crecimiento de los brotes.

La influencia del déficit hídrico de primavera sobre la tasa de crecimiento fue más importante en los brotes formados sobre las caras podadas que en las caras no podadas (Fig. 4.8). Analizando la elongación promedio de brotes por cara y tratamiento, mostró que en las caras no podadas (Fig. 4.8G) hubo un efecto del tipo de poda y de la carga de frutos en la cara. Así se evidenciaron brotes 6 cm más largos en podas unilaterales que en podas bilaterales. En el caso de caras podadas (Fig. 4.8H), se observó un efecto mayor del riego, sobre todo en podas unilaterales donde se vieron las diferencias más extremas: U-CTR con una elongación promedio de 20,9 cm brote<sup>-1</sup> y en U-RDC con 9,7 cm. Lo anterior pudo deberse a la presencia de frutos en caras no podadas y a la ausencia en las caras podadas, lo que acentuó el efecto del riego sobre la elongación de brotes. En el caso de los bilaterales, esas diferencias no se observaron (13,5 cm brote<sup>-1</sup>, en promedio), ya que ambas caras estaban podadas en el mismo momento, y con bajo nivel de carga frutal.

Luego de efectuada la poda, el número de brotes originados en los cortes de ramas no fue diferente entre tratamientos (Tabla 4.2), similar a lo expuesto por Albarracín et al. (2018) donde no evidenciaron un aumento en el número de brotes en podas aplicadas con diferentes intensidades. Sin embargo, la elongación total de los brotes fue afectada por los tratamientos, principalmente debido al riego recibido. El déficit hídrico aplicado durante la primavera para B-RDC y U-RDC, redujo en promedio 34 % y 61 % la elongación de los brotes formados en el corte, comparado con B-CTR y U-CTR, respectivamente. La aplicación del déficit hídrico primaveral también redujo en los setos B-RDC y U-RDC en promedio un 35 % el número de nudos y 21 % el largo de los entrenudos que en los setos con riego control (Tabla 4.2). Martín-Vertedor et al. (2011) obtuvieron similares resultados en olivo cv. Morisca. Los autores observaron un acortamiento de entrenudos en aquellos tratamientos que recibieron una dotación menor de agua respecto del regado al 100 % de sus necesidades. En consecuencia, el déficit hídrico resultó una herramienta para controlar la generación y crecimiento de chupones muy vigorosos, que son propensos a originarse en los cortes en setos podados mecánicamente.

Respecto del tamaño de los setos, aquellos más angostos, más bajos y con la relación A/CL más cercana a 1 fueron los del tratamiento U-RDC, tanto en las mediciones pospoda como en cosecha. U-RDC evidenció el menor incremento (14 %) de la Relación

A/CL de pospoda a cosecha respecto a B-CTR y U-CTR que aumentaron la relación A/CL en un 43 % y B-RDC un 32 % (Tabla 4.3). Lo anterior da la pauta que durante todo el periodo vegetativo y luego, durante el verano cuando se produce la acumulación de aceite en fruto, dicha relación se mantuvo cercana a 1. Connor y Gómez-del-Campo (2013), mediante modelos matemáticos estimaron que setos diseñados y manejados con relación A/CL cercana a 1, permite una apropiada iluminación en todas las posiciones del seto y que está asociada a altas productividades. De forma opuesta, el manejo de setos con una relación A/CL >1 conduce al sombreado principalmente de las posiciones más baja de la copa, siendo altamente probable la disminución de la penetración de la radiación (Gómez-del-Campo et al., 2020; Gómez-del-Campo et al., 2017), lo que se traduce en una baja de la tasa de crecimiento de los frutos y en la acumulación de aceite. En nuestro estudio, los setos del tratamiento U-CTR presentaron el mayor desarrollo vegetativo en cosecha, evidenciado por una relación A/CL de 1,60 (Tabla 4.3). En base a nuestros resultados, la aplicación de poda mecánica Unilateral y el uso de riego del 100 % de la  $ET_c$ , favoreció un mayor tamaño de copa al inicio de la temporada y al disponer de más agua que los RDC durante todo el ciclo, propiciaron desbalances tendientes hacia lo vegetativo.

#### **4.3. Respuestas en componentes reproductivos y el rendimiento**

En olivo, Rapoport et al. (2012) y Hueso et al. (2019) observaron que el momento de desarrollo de las inflorescencias durante la primavera, es un periodo de alta sensibilidad al déficit hídrico. En nuestro experimento no observamos una afectación significativa en el largo de brotes reproductivos, nudos por brote, largo de entrenudos, porcentaje de yemas florales, inflorescencias fértiles y número de frutos por brote (Tabla 4.4). Esto puede ser parcialmente debido a que el nivel de déficit hídrico aplicado no fue mantenido, en términos de  $\Psi$ , por debajo del umbral donde se afecta el desarrollo de inflorescencias (>-2,0 MPa; según lo expuesto por Shackel et al., 2021). Además, los tratamientos aplicados fueron una estrategia conjunta de "Poda + Riego" y esto pudo haber atenuado las diferencias entre las cuatro estrategias evaluadas.

Por otro lado, la estructura de las inflorescencias si fue afectada por los tratamientos evaluados (Tabla 4.5), en los tres años en estudio. U-RDC tuvo inflorescencias más

cortas, con menos flores por inflorescencia y menos flores perfectas respecto a U-CTR. Lo anterior muestra una mayor sensibilidad de la calidad de las flores al déficit hídrico. Rapoport (2014) observó una reducción en el número de flores perfectas y disminución en el tamaño del pistilo, luego de una sequía severa producida en España. Sin embargo, cuando comparamos los tratamientos B-CTR y B-RDC presentaron inflorescencias con similares características, mostrando en este caso que no hubo efecto consistente del déficit de primavera. Los setos con poda bilateral presentaron una poda intensa en ambas caras en años alternos. El año de no intervención pudo haber provocado un sombreado excesivo en el interior del seto y en particular sobre los brotes donde se forman las yemas que darán inflorescencias en el siguiente año. En estudios previos, Trentacoste et al. (2021) en un experimento manipulativo donde olivos cv Arbequina fueron sombreados artificialmente con distintos niveles de sombra, observaron una fuerte influencia de la radiación incidente sobre las yemas en la posterior calidad floral. Los cambios en el ambiente lumínico pueden explicar también el mayor porcentaje de flores perfectas en los tratamientos U-CTR y U-RDC, respecto a los tratamientos B-CTR y B-RDC. La poda unilateral realizada todos los años permite una mejor iluminación del interior de los setos (Trentacoste et al., 2017). Los resultados y estudios previos ponen en evidencia que los procesos que determinan el número de inflorescencias y calidad floral en olivo, duran más de un ciclo de cultivo e intervienen factores ambientales y de manejo, y la interacción de ambos.

En la Figura 4.9A, se observa que el número de inflorescencias por volumen de seto fue igual en todos los tratamientos (1657 inflorescencias  $m^{-3}$ , en promedio) excepto en el tratamiento U-CTR que tuvo 623 inflorescencias  $m^{-3}$ . Lo anterior habla de una misma potencialidad productiva (i.e. cantidad de inflorescencias con flores perfectas) en el tratamiento U-RDC respecto a B-CTR y B-RDC, dado que con un menor tamaño de planta se logró una misma densidad de inflorescencias. En la Figura 4.10, al relacionar el crecimiento vegetativo (incremento en largo de brotes) con el desarrollo reproductivo (densidad de inflorescencias) se concluyó que, el incremento en la densidad de inflorescencias hasta 1914 inflorescencias por  $m^{-3}$  de seto la elongación de brote no es afectada. Densidades de inflorescencias mayores a 1914 inflorescencias  $m^{-3}$  de seto producen una disminución en la elongación de brotes, explicado por la competencia entre destinos ampliamente observada en olivo (Rosati et al., 2018a).

En cosecha, B-CTR fue la estrategia más productiva (expresada como kg de aceitunas y de aceite) debido al mayor número de frutos por planta (Tabla 4.6). Las estrategias menos productivas fueron B-RDC y U-RDC que tuvieron producción de aceitunas, de aceite y número de frutos un 38 %, 39 % y 47 % menor, respectivamente, comparado con el promedio de ambos B-CTR y U-CTR. Nuestros resultados van en línea con el trabajo de Hueso et al. (2021) quienes observaron una reducción significativa de la producción de olivar en seto estrecho cv. Arbequina, sometido a déficit de primavera en suelos someros y profundos en Toledo (España).

La aplicación de déficit hídrico durante la primavera tuvo un efecto sobre la productividad del año en curso y del año siguiente. Durante la primavera ocurre la secuencia (diferenciación floral, desarrollo inflorescencias, floración y cuaje) que define el número de frutos para la cosecha actual (Hartmann y Porlingis, 1957). En nuestro trabajo B-RDC y U-RDC tuvieron menor porcentaje de yemas inducidas y menor calidad de inflorescencias. También durante la primavera se concentra gran parte del crecimiento de los brotes y la formación de nudos que portarán las inflorescencias al siguiente año. Aquí B-RDC y U-RDC presentaron menor elongación de los brotes y número de nudos por brote y, por ende, un menor número potencial de frutos para la siguiente cosecha. La reducción de la producción de aceitunas debido al déficit hídrico de primavera, sin embargo, parece no tener siempre el mismo efecto. Por ejemplo, Mezghani et al. (2012) y Trentacoste et al. (2019) observaron una mayor producción en olivos regados en déficit durante la primavera, a diferentes porcentajes de restricción. En estos estudios, los tratamientos que fueron regados en ausencia de déficit hídrico presentaron un exceso de crecimiento vegetativo desarrollando yemas en ambientes de baja iluminación y que luego evidenciaron una baja inducción floral. Por eso, es muy necesario la realización de más estudios en nuestras zonas productivas, que modifiquen el aporte hídrico en la época primaveral de mayor crecimiento de brotes. La alternancia productiva afectó considerablemente a las plantas, aunque lo hizo en la misma magnitud para todos los tratamientos, como se ve en la Tabla 4.6 con el índice de vecería (0,83 en promedio).

En cuanto a características de los frutos, el IM fue diferente y significativamente mayor en el tratamiento B-RDC (Tabla 4.6). Los frutos en los setos B-RDC y U-RDC fueron un 17 % más pesados que en aquellos recolectados de los tratamientos B-CTR y U-CTR.

Lo mismo puede verse en la relación Pulpa/Carozo que fue mayor en frutos de plantas B-RDC y U-RDC, es decir, con una mayor proporción de pulpa (alrededor de un 9 % más). Las diferencias, en las características de los frutos, entre tratamientos B-CTR y U-CTR vs B-RDC y U-RDC, pueden ser explicadas debido a que estos últimos recibieron una menor lámina de riego durante el periodo en el que se define el número de frutos y luego fueron regados con igual lámina que B-CTR y U-CTR en el periodo de crecimiento de las aceitunas. Similares resultados observaron Trentacoste et al. (2019) en setos de olivo, donde tratamientos regados al 30 y 50 % de la  $ET_c$  comparados con los regados al 70 % de la  $ET_c$  mostraron un mayor peso fresco de frutos, similar contenido de agua y relación P/C. La concentración de aceite no fue diferente entre tratamientos (Tabla 4.6), debido a que la acumulación del aceite en los frutos ocurre posterior al endurecimiento del carozo, que en este estudio fue cuando todos los tratamientos recibieron la misma lámina de riego.

Cuando comparamos entre caras de los setos se observa en las caras no podadas, que incluyeron valores de una de las caras de los tratamientos U-CTR y U-RDC y ambas de B-CTR y B-RDC del año 2018/2019, que se concentró el 67,3 % de las inflorescencias totales respecto de las que se desarrollaron en las caras podadas (Fig. 4.9). Las diferencias también se vieron en cosecha, donde caras no podadas tuvieron el 74 % de la producción y mostraron frutos con un 2 % más de concentración de aceite respecto de las podadas (Tabla 4.6). A su vez, los frutos recolectados de las caras no podadas tuvieron menor madurez, peso de fruto y relación Pulpa/Carozo, indicando cierta independencia entre caras y que la competencia por asimilados se da a corta distancia dentro una planta, como expusieron Proietti y Tombesi (1996). En la Tabla 4.6 también se aprecia que las caras no podadas tuvieron un índice de vecería un 10 % más bajo que el de caras podadas, más allá de que en ambos casos ese índice fue elevado en términos generales.

El olivo es una especie que presenta una notoria alternancia productiva entre años o vecería (Kour et al., 2018). En nuestro estudio, las estrategias evaluadas presentaron altos valores de 0,76 y 0,84, sin diferenciarse entre tratamientos. En contraste a Lodolini et al. (2019) quienes observaron una atenuación de la vecería al aplicar distintas estrategias de podas mecánicas laterales. Posiblemente, la evaluación de nuestro

estudio durante una mayor cantidad de años permita arribar a resultados más consistentes sobre el manejo de la vecería.

#### **4.4. Discusión de hipótesis**

*H1: Un olivar en seto manejado con poda mecánica unilateral presentará mayor producción media entre años y con menor vecería respecto de setos con poda bilateral. La poda en una sola cara permitirá mantener alta producción en las caras no podadas, lo que reducirá el crecimiento vegetativo de la cara podada. Esto reducirá el tamaño de los setos e incrementará la transmisión de radiación con la consecuente mejora en la fertilidad de las yemas y la calidad floral.*

La alternancia productiva entre años (i.e., vecería) fue elevada y similar en los cuatro tratamientos evaluados. Los resultados obtenidos pueden ser una consecuencia, al menos en parte, que se inició el experimento en un ciclo productivo de baja carga frutal. Al podar severamente los setos, sobre todo en bilaterales, y existir una escasa presencia de frutos se favorecieron condiciones de elevado crecimiento vegetativo y de cantidad de yemas llevando a un muy alto potencial productivo al siguiente año (i.e. exceso de carga frutal). Esto se observa en las producciones obtenidas en el experimento, donde una muy baja productividad en el primer año, fue seguida de valores muy altos al siguiente año. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis enunciada respecto de la alternancia productiva. Entre tratamientos bilaterales y unilaterales la tasa de crecimiento de brotes no se diferenció, aunque el largo de brotes final fue mayor en los unilaterales, influyendo el riego recibido. El número de yemas no fue diferente y tampoco lo fue el porcentaje de flores perfectas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada inicialmente respecto del número de yemas y la fertilidad de las mismas.

*H2: La aplicación de déficit hídrico primaveral en setos de olivo podados mecánicamente reducirá la elongación de brotes, el número de yemas y disminuirá la formación de chupones sobre las ramas podadas. El menor tamaño de los setos y la mejor iluminación de la copa, dado por una menor relación altura/ancho de calle libre,*

*no compensarán la disminución de la producción debido al menor número de yemas formadas.*

Plantas regadas bajo déficit hídrico primaveral mostraron una menor tasa de crecimiento de brotes, respecto de plantas con riego control. Esto se evidenció por el menor largo de entrenudos, menor cantidad de nudos totales y una menor elongación final de brotes, similar a lo expuesto por Trentacoste et al. (2019). El crecimiento vegetativo generado en los cortes de poda fue menor en plantas regadas bajo déficit y estuvo dado por un menor largo total de brotes, ya que el número de brotes fue el mismo para ambos riegos. La relación entre el alto de copa y el ancho de calle libre en cosecha fue más cercana a 1 en plantas bajo déficit hídrico (1,20 vs 1,55 en B-CTR y U-CTR, promedio), como enuncian Connor y Gómez-del-Campo (2013). Respecto a la producción por volumen de copa no se observó mayor eficiencia por unidad de volumen de copa entre tratamientos. Comparando la producción entre tratamientos, las plantas con riego control tuvieron un mayor rendimiento por planta, en concordancia con lo observado por Hueso et al. (2021) evaluando setos superintensivos cv. Arbequina en Toledo, España. En base a lo expuesto inicialmente y a los resultados obtenidos se aceptan las hipótesis enunciadas.

## **5. CONCLUSIONES**

La poda mecánica es una herramienta útil para adaptar la forma del seto a la requerida para una cosecha mecánica eficiente y así reducir el daño sobre la planta y los frutos. La relación A/CL es un buen índice para diagnosticar la situación inicial y para evaluar posteriormente la calidad de la poda mecánica realizada. Los setos con poda unilateral y RDC primaveral tuvieron la menor relación A/CL en cosecha (1,06) y una aceptable producción, tomando en cuenta la elevada vecería presente en este experimento en particular. Setos mantenidos con la relación A/CL  $\approx$  1 posibilitan una mejor iluminación en las partes bajas e internas de la canopia y ello puede lograrse ajustando la poda lateral y del top. La poda bilateral al ser una estrategia bianual (año con poda + año sin poda) en el momento de reingresar a podar (tercer invierno) se extraen más restos de biomasa, respecto a los unilaterales. Esto se debe a que se deja

un año con crecimiento vegetativo libre y en el caso de no haber aplicado déficit de primavera (como en B-CTR) se originó un excesivo crecimiento vegetativo, en detrimento de los componentes reproductivos. La poda unilateral exige el ingreso a podar todos los años, logrando cierto equilibrio entre la cara podada y la no podada. En la cara podada se desarrollan los brotes donde se formarán las inflorescencias el año siguiente y en la cara no podada se concentra la producción del año en curso.

El RDC primaveral permitió una menor expresión vegetativa tanto de caras podadas y no podadas, en distinta magnitud. El RDC también tuvo el crecimiento excesivo de chupones en ambas estrategias de podas y logró el beneficio asociado del ahorro de agua ( $\approx 35\%$ ), un tema de suma relevancia para la región. Por lo tanto, la adecuada gestión del riego localizado y su aplicación con restricciones es un complemento ideal y recomendado para olivares en seto mecanizados. El seguimiento y la medición del potencial hídrico de tallo al mediodía, resultó un indicador sensible del estado hídrico del cultivo, necesario para la toma de decisiones. Valores de  $\Psi$  menores a  $-2,0$  MPa estuvieron asociados a una disminución en el vigor de las plantas y a un ahorro de agua, sin afectar marcadamente la producción. Es importante mantener constantes estos valores de  $\Psi$  ( $<-2,0$  MPa) durante el periodo que va desde pre brotación (septiembre) hasta fin de endurecimiento de carozo (mediados de enero), si se pretende lograr que el efecto sobre el crecimiento vegetativo sea más efectivo y significativo.

Siguen siendo necesarios más estudios en primavera con aplicación de riego deficitario controlado, ya que es el momento de mayor crecimiento vegetativo. También son necesarios más estudios sobre la intervención con poda mecánica enfocada en atenuar la vecería, que en este experimento fue del  $83\%$ , en promedio. Se deben procurar experimentos con un mínimo de tres o cuatro años (i.e. cosechas) para aminorar el efecto de la vecería y tener en cuenta el momento y la intensidad de los tratamientos de poda a aplicar, según el momento de intervención y la historia productiva de la parcela.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN GENERAL**

Frente a la problemática de falta de mano de obra en la fruticultura regional, en esta tesis se evaluaron estrategias de manejo que permiten realizar más rápidamente ciertas labores y logran bajar los costos de producción. En concreto, se probaron distintos materiales genéticos, podas mecánicas y manejo de del riego, todas estas alternativas aportan a la reducción de costos sin afectar de forma significativa el rendimiento e incluso en algunos casos con mejoras en la calidad de la producción. Por un lado, se probó en duraznero el uso de injertos intermediarios como método para restringir el crecimiento vegetativo de la copa y, en paralelo, se experimentaron diferentes momentos de poda mecánica y analizaron los efectos sobre el crecimiento vegetativo, la producción y la calidad. En olivo se siguió con la misma premisa: bajar el costo de producción, a través de la mecanización de la poda en complemento con la gestión del riego (riego deficitario controlado en primavera) para contener excesivos crecimientos vegetativos en cultivos conducidos en seto, analizando la influencia sobre la producción y calidad de las aceitunas.

En un primer experimento, en duraznero para industria (Capítulo II), el empleo de intermediarios de orígenes genéticos específicos redujo el tamaño de la copa de la variedad comercial respecto de aquellas plantas testigo, sin intermediarios. Observamos una afectación del vigor vegetativo relacionado con las características genéticas del intermediario, como se ve en la Tabla 2.4. Los materiales Hiawatha, Krymsk 1<sup>®</sup> y Citation redujeron significativamente el crecimiento de brotes y su número (Tabla 2.3), esto coincide con lo observado por Weibel et al. (2004) al emplear Hiawatha como portainjerto comparado en ese estudio con Nemaguard, portainjerto muy usado en la fruticultura argentina como portainjerto desvigorizante. Por otro lado, ciertos materiales como Myran, MrS 2/5 y Damas GF 1869 utilizados como intermediarios entre el portainjerto Monegro y el cv Pavie Catherine, favorecieron el crecimiento vegetativo de la variedad en mayor proporción que el testigo sin intermediario, en nuestras condiciones experimentales. Así, en ausencia de portainjertos enanizantes para la producción de durazno (Iglesias y Echeverría, 2022), los intermediarios Hiawatha,

Krymsk 1® y Citation surgen como alternativa eficaz para plantaciones diseñadas con mayor densidad de plantación, como es requerido para la formación rápida de setos. Este estudio, además mostró que el uso de intermediarios podría favorecer un aumento de la densidad de flores y consecuentemente de frutos (Tabla 2.4), dando una herramienta más frente a contingencias climáticas en momentos críticos (ej.: floración, cuaje) como heladas tardías o vientos Zonda, muy comunes en regiones del Centro-Oeste de Argentina donde se ubica la mayor producción de durazno de Argentina. Por último, la longitud del intermediario es importante debido a que mayor longitud estuvo asociada a mayor reducción del crecimiento vegetativo y el aumento de la densidad de floración, similar a lo observado por Di Vaio et al. (2009). Como fue mencionado anteriormente, el manejo del vigor de la copa y la mayor densidad de flores son aspectos claves en plantaciones en alta densidad y formadas en seto, debido a que evitan el uso de podas intensas para mantener el tamaño adecuado de la copa, a su vez el manejo y ejecución de ciertas labores pueden ser realizadas de forma continua y más rápida, (poda, raleo, cosecha, etc.) ya sea manual o mecánicamente.

En el segundo experimento se evaluó la influencia de tres momentos de poda mecánica sobre el crecimiento de los brotes, la relación entre las dimensiones de la copa, la productividad y la calidad de frutos en durazno de industria (Capítulo III). Desde nuestro conocimiento, no existían antecedentes previos donde se evaluase poda mecánica lateral en duraznero, así nos valimos del conocimiento generado en otros cultivos como manzano (Mika et al., 2016), vid (Poni et al., 2016) y olivo (Albarracín et al., 2017). La poda manual es selectiva, en contraste con la poda mecánica que no permite seleccionar los brotes a extraer y aquellos que quedarán para definir la producción (Bussi et al., 2011). Los tratamientos de poda mecánica, independientemente del momento de intervención, dejaron mayor número de brindillas y en consecuencia mayor longitud total de brotes en comparación a la poda manual (Tabla 3.2), similar a lo expuesto en manzano por He y Schupp (2018). La mayor longitud total de brindillas resultó en mayor densidad de flores y luego de frutos. En cosecha, sin embargo, la producción, el número de frutos y las características de los mismos fueron similares en los tratamientos de poda mecánica y manual ambos realizados en invierno (Tabla 3.3 y Tabla 3.4). Aquí, el raleo de frutos realizado para que

éstos alcancen características requeridas por el sector industrial, pudo haber tenido su efecto.

El momento de intervención con poda mecánica no evidenció influencia significativa sobre el tamaño de la copa en cosecha. Respecto del rendimiento por planta, al inicio del experimento no se observaron diferencias entre momentos de intervención (invierno, preraleo y poscosecha). En el segundo año, la poda mecánica realizada en invierno (MW) y en poscosecha (MC) incrementó la producción respecto al primer año, mientras la producción del tratamiento de poda preraleo (MR) fue similar en ambos años. En el tercer año, la producción de los setos con tratamiento MW disminuyó a valores similares a los del primer año ( $21 \text{ kg planta}^{-1}$ ), en tanto, que MR y MC aumentaron comparado al primer año un 22 % y 69 %, respectivamente. La calidad de los frutos no respondió a momento de intervención de poda mecánica, observando similares valores de humedad, diámetro ecuatorial, firmeza de pulpa, contenido de sólidos solubles y color de cobertura entre tratamientos (Tabla 3.4).

Un aspecto relevante, que debería ser abordado en futuros estudios, es el raleo de frutos en sistemas manejados con poda mecánica lateral. Como fue mencionado, la poda mecánica conduce a elevadas densidad de flores y frutos cuajados, lo que puede limitar realizar la práctica de raleo de forma adecuada, cuando esta es manual. El nivel y momento del raleo deben preverse para no contrarrestar los efectos positivos de la poda mecánica. Surge entonces la recomendación de adecuar el raleo dejando una misma relación entre hojas y frutos, ajustándolo a los resultados obtenidos anualmente y las calidades requeridas por el sector industrial. Los momentos evaluados y los resultados obtenidos en esta tesis parecen indicar que la aplicación de poda mecánica en duraznero serán una combinación de momentos de intervención a lo largo de cada temporada, según la finalidad buscada en los setos de duraznero. A modo de ejemplo, en primera instancia una poda invernal mecánica sería adecuada para darle forma al seto y configurarla a la maquinaria utilizada en otras labores; luego una intervención en verde (cerca del raleo y/o en poscosecha) se podría realizar para restringir el crecimiento vegetativo y manejar la relación entre el tamaño de la copa, la densidad foliar y el número de frutos.

A partir de los resultados y perspectivas analizadas surgen nuevos interrogantes: **¿El productor está dispuesto a pagar el costo extra de vivero (2 años) que significa**

**obtener una planta con intermediario? La posibilidad de contar con plantas de menor tamaño, ¿favorecerá la adopción de plantaciones en seto? ¿La disminución en el costo de poda se verá reflejada en una mejora de la rentabilidad por hectárea? La poda mecánica es factible en durazneros ¿será posible para todo tipo de destinos de la fruta, tanto pulpa como mitades? ¿cómo se comporta la distribución de la radiación dentro de la canopia en durazneros podados mecánicamente? Y en base a la pregunta anterior ¿es factible ejecutar podas mecánicas todos los años debido a la forma de fructificación (brotes de 1 año) que tiene esta especie?**

En el tercer experimento (Capítulo IV) realizado en olivar en seto nos enfocamos en profundizar sobre la respuesta vegetativa y productiva a la poda mecánica lateral y niveles de riego recibido. Los diferentes tratamientos fueron una estrategia recomendada si se busca dar forma al seto acorde a la maquinaria de cosecha (con poda) y contener el tamaño del seto (con riego deficitario durante primavera). Al ser estrategias combinadas de “poda + riego” como ya se expuso en distintas secciones del capítulo, aplicar una u otra alternativa dependerá de la situación del olivar a intervenir. En nuestro caso, sobre caras podadas se observó una reducción de la elongación de los brotes en los tratamientos de poda bilateral en años alternos y riego deficitario controlado en primavera (B-RDC) y de poda unilateral y riego deficitario controlado en primavera (U-RDC) (Tabla 4.2 y Fig. 4.8 G y H). En la estrategia de poda unilateral y riego donde se repuso el 100 % de la evapotranspiración de cultivo (U-CTR) se dio la mayor expresión vegetativa sobre caras podadas, dando la pauta de que sería una estrategia no recomendada si lo que se busca es contener el crecimiento vegetativo del seto (Martín-Vertedor et al., 2011). El cuarto tratamiento de poda bilateral regado al 100 % de la evapotranspiración de cultivo (B-CTR) fue intermedio respecto a los otros tratamientos. Otra variable que refleja los efectos de las estrategias aplicadas es la relación entre el alto de la copa y el ancho de calle libre (A/CL), donde un valor menor o igual a 1 está relacionado con una adecuada iluminación en todas las posiciones del seto (Connor y Gómez-del-campo, 2013). En la Tabla 4.3 podemos observar que los setos manejados con la estrategia U-RDC llegaron a cosecha con menor relación A/CL, es decir, que plantas podadas a una cara y bajo el efecto del riego deficitario en primavera lograron contener el tamaño de copa. Los setos manejados con la estrategia U-RDC

también presentaron menor volumen de copa, variable que puede tomarse como integradora del crecimiento vegetativo.

Los componentes reproductivos (Tabla 4.4) medidos durante la floración no fueron afectados significativamente por los tratamientos. Los tratamientos U-RDC y B-RDC, donde se redujo el riego durante primavera, presentaron similar número de nudos por brote, largo de entrenudos, porcentaje de yemas florales, proporción de inflorescencias fértiles y número de frutos por brote que U-CTR y B-CTR donde el riego repuso las necesidades del cultivo. Estos resultados contrastan con lo reportado por Rapoport et al. (2012) y Hueso et al. (2021), quienes observaron alta sensibilidad de las características de las inflorescencias al déficit hídrico de aplicado en primavera. Las diferencias entre experimentos pueden ser explicadas a que el nivel de déficit hídrico alcanzado en nuestro estudio fue menor a los evaluados por Rapoport et al. (2012) y Hueso et al. (2021). A pesar de que el porcentaje de componentes reproductivos no se diferenció entre tratamientos, U-CTR tuvo menos inflorescencias totales en un similar volumen respecto a los otros tratamientos (Fig. 4.9), esto demuestra que resultó ser la estrategia más desfavorable en las condiciones de este experimento. En los otros tres tratamientos observamos una similar densidad de inflorescencias similar y un volumen de seto en cosecha sin diferencias.

Al inicio del experimento, el olivar en seto utilizado se encontraba en condición de baja carga frutal, en particular la parcela de experimentación presentó una producción promedio de  $1,7 \text{ kg planta}^{-1}$ . En el segundo año, incrementó notablemente alcanzando  $17,6 \text{ kg planta}^{-1}$ , en promedio. Esto puede ser parcialmente atribuido las características veceras que presenta el olivo (Kour et al., 2018). A partir de que las caras no podadas tuvieron un índice de vecería un 10 % más bajo que las caras podadas sustenta el hecho que la poda unilateral puede ser una estrategia válida para atenuar el efecto de vecería en setos de olivo y esto puede estar favorecido por cierta independencia entre caras al momento del desarrollo y la madurez de los frutos (Lodolini et al., 2019). La poda mecánica unilateral + RDC primaveral produce reducciones moderadas de la producción (sobre caras podadas) lo que puede atenuar la vecería y podría ser mejor aplicarla en un año con potencial para producir alta carga. Por otro lado, la poda mecánica bilateral + RDC primaveral reduce excesivamente la carga el año de poda puede ser menos eficaz para controlar la vecería y sería recomendable aplicarla en situaciones de excesivo

tamaño de seto (Albarracín et al., 2017). A partir de lo expuesto, surgen nuevas preguntas: **¿Es posible reducir el efecto de la alternancia productiva en setos de olivo, con riego deficitario primaveral y un manejo de poda interviniendo una cara por año (unilateral)? ¿A niveles de RDC más bajos es factible contener crecimiento vegetativo sin disminuir marcadamente el rendimiento? ¿Es posible efectuar la poda mecánica en otro momento de ciclo fenológico (ej.: floración) a los fines de obtener un mayor control del crecimiento vegetativo del seto?**

En ambas especies duraznero y olivo sigue siendo necesario continuar con estudios enfocados en el diseño de las plantaciones y del manejo para alcanzar la mecanización integral de la plantación, especialmente de la poda y la cosecha. Las plantaciones en seto facilitan la mecanización integral y por ello requieren el manejo del crecimiento vegetativo mediante el uso de materiales genéticos desvigorizantes, una gestión adecuada del riego y una clara definición de la calidad de fruta a obtener, para abastecer a la industria altamente demandante de productos con determinadas características. Además, se deberá prestar especial atención a cuestiones relacionadas a la radiación interceptada por la canopia y la distribución de fotoasimilados a lo largo de las partes perennes de las plantas, para conocer los efectos de la poda mecánica a largo plazo, en este tipo de plantaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Muchas de las personas que estuvieron presentes en todo este tiempo, fueron apareciendo en mi memoria a medida que le daba formato al manuscrito de la tesis. En 2017 inicié este trabajo de novio, en el medio nos casamos y luego de un par de años, tuvimos a nuestra hija, por ello en primer lugar gracias a Pau y Delfi, las mujeres de mi vida y el origen de mi inspiración. Agradecido a mis padres, Anita y Alberto, que desde chico me enseñaron de responsabilidad y perseverancia, y me dieron todo para poder seguir mi carrera; a mi hermano, Leo, que por medio de los juegos y la curiosidad creo que se gestó el germen de preguntar y explorar. Gracias a mis abuelos que me guían desde arriba; a mis primos, tíos, suegros, que me alentaron todos de alguna manera en todo momento. Gracias a mis grandes amigos y amigas (de la vida, del barrio, de la facultad, ...) que por suerte no entran todos en esta hoja, porque me dieron la distensión adecuada y las palabras justas. Gracias a mis amigos de La Rioja y San Juan, grandes intercambios y cursadas nos unieron y unen en el camino. Gracias Eduardo y Antonio, que más allá del “cargo” formal dentro de la tesis, me brindaron todo su saber, apoyo y tiempo, hoy en día ya es una amistad más que una mera relación académica-laboral. Gracias Octa, Nuny, Vane, Adri, Agus, Carlos, Dai, Diana, Damián, a la gente del invernadero, de campo, administración y a todos y cada uno de los que forma parte o pasó por la EEA INTA Junín, porque muchos me tendieron una mano enorme en todo este tiempo (mediciones, análisis, muestreos, cosechas, correcciones, compras...) y me dieron un lugar en esta gran institución. Debo decir en que en “INTA Junín” establecí un sentido de pertenencia y desarrollé plenamente mi pasión por la investigación. Gracias a CONICET por otorgar en su momento la beca para realizar esta tesis. Gracias a los productores que colaboraron abriendo las tranqueras de las fincas para los ensayos, sobre todo a sus encargados Miguel y Ricardo. Y por último y no menor, a los jurados que dedicaron su tiempo en corregir este trabajo.

Haber llegado hasta aquí con el manuscrito de la tesis es algo plenamente gratificante, ya que soy un convencido que la vida, como sucede con el resultado de nuestras investigaciones, debe ser compartida con quienes nos rodean.

¡Gracias eternas!

## BIBLIOGRAFÍA

- Ajmi, A., Larbi, A., Morales, M., Fenollosa, E., Chaari, A., Munné-Bosch, S. (2020). Foliar Paclobutrazol Application Suppresses Olive Tree Growth While Promoting Fruit Set. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1638-1646. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10188-z>
- Albarracín, V., Hall, A. J., Searles, P. S., Rousseaux, M. C. (2017). Responses of vegetative growth and fruit yield to winter and summer mechanical pruning in olive trees. *Scientia Horticulturae*, 225, 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.005>
- Albarracín, V., Hall, A. J., Searles, P. S., Rousseaux, M. C. (2018). Impact of simulated mechanical hedge pruning and wood age on new shoot demography and return flowering in olive trees. *Trees*, 32(6), 1767-1777. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1749-1>
- Alem, H., Torregrosa, L., Rigou, P., Schneider, R., Ojeda, H. (2021) Effect of the plant sink/source balance on the metabolic content of the *Vitis vinifera* L. red grape. *European Journal of Agronomy*, 122, 126168. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126168>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97), e156.
- Atkinson, C.J., Else, M.A., (2001). Understanding how rootstock dwarf fruit trees. *Compact Fruit Tree* 34, 46–49.
- Avidan B.; Ogradovitch A.; Lavee S. (1999). A reliable and rapid shaking extraction system for determination of the oil content in olive fruit. *Acta Horticulturae*. 474, 653–658. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.135>
- Baroni A. (2017). Estructura del consumo de duraznos en conserva en la Argentina. Fundación Instituto de Desarrollo Rural, Mendoza, Argentina.
- Ben Yahmed, J., Ghrab, M., Moreno, M.Á., Pinochet, J., Ben Mimoun, M., (2020). Leaf mineral nutrition and tree vigor of 'Subirana' flat peach cultivar grafted on different Prunus rootstocks in a warm Mediterranean area. *Journal Plant Nutrition*. 6, 811-822. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711939>
- Ben-Gal, A., Ron, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Naoum, S., Dag, A. (2020). Evaluation of regulated deficit irrigation strategies for oil olives: A case study for two modern Israeli cultivars. *Agricultural Water Management*, 245, 106577. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106577>
- Beyhan, N. (2007). Effects of planting density on yield and quality characteristics of hazelnut (cv. Palaz) in a hedgerow training system. *Canadian journal of plant science*, 87(3), 595-597. <https://doi.org/10.4141/P05-064>
- Bielsa, B., Rubio-Cabetas, M.J., Felipe, A.J., Gómez-Aparisi, J., (2016). Rootstock trial of eight GxN interespecific hybrids in almond. In *Options Méditerranéennes. Series A: Mediterranean Seminars*. ENA, École Nationale d'Agriculture de Meknès (Morocco); CIHEAM-IAMZ, Zaragoza (Spain); Ministry of Agriculture and Fisheries of the Kingdom of Morocco.

- Blanco-Roldán, G., Castro-García, S., Jiménez-Jiménez, F., Castillo-Ruiz, F. J., Sola-Guirado, R. R., Gil-Ribes, J. A. (2013). Recolección mecanizada del olivar de mesa con vibradores de troncos. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas: Madrid.
- Bussi, C., Bruchou, C., Lescourret, F. (2011). Response of watersprout growth to fruit load and intensity of dormant pruning in peach tree. *Scientia Horticulturae*, 130(4), 725-731. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.026>
- Byers, R. E., Carbaugh, D. H., Presley, C. N. (1990). The influence of bloom thinning and GA 3 sprays on flower bud numbers and distribution in peach trees. *Journal of Horticultural Science*, 65(2), 143-150. <https://doi.org/10.1080/00221589.1990.11516040>
- Calvo, A. B., Díaz Gómara E. (2016) Mecanización de la recolección. *Revista Olint* 30, 46-51.
- Cámara, J. M., Garcia-Sanchez, F., Nieves, M., Cerda, A. (2003). Effect of interstock ('Salustiano'orange) on growth, leaf mineral composition and water relations of one year old citrus under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(2), 161-167. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511600>
- Casierra-Posada, F., Puerto, J. I. R., Cárdenas-Hernández, J. (2007). La relación hoja: fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux'). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3657-3669.
- Castillo-Ruiz, F. J., Jiménez-Jiménez, F., Blanco-Roldán, G. L., Sola-Guirado, R. R., Agüera-Vega, J., Castro-García, S. (2015). Analysis of fruit and oil quantity and quality distribution in high-density olive trees in order to improve the mechanical harvesting process. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(2), e0209-e0209. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015132-6513>
- Castillo-Ruiz, F. J., Sola-Guirado, R. R., Castro-García, S., Gonzalez-Sanchez, E. J., Colmenero-Martinez, J. T., Blanco-Roldán, G. L. (2017). Pruning systems to adapt traditional olive orchards to new integral harvesters. *Scientia Horticulturae*, 220, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.043>
- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., Jerie, P. H. (1983). The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. In *International Workshop on Controlling Vigor in Fruit Trees* 146 (pp. 143-150). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1984.146.15>
- Cline, J.A., (2019). Planting density and size-controlling rootstocks influence the performance of 'Montmorency' Tart Cherry (*Prunus cerasus* L.). *Can. Journal Plant Science*. 100(1), 16-28. <https://doi.org/10.1139/cjps-2019-0045>
- CNA, (2018). Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados definitivos, 1° ed. (2021), Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2021. Libro digital, PDF. ISBN 978-950-896-607-0 (acceso: 28 de abril de 2021).
- COI, (2015). Consejo Oleícola Internacional. Estudio internacional sobre costes de producción del aceite de oliva. (<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/ESTUDIO-INTERNACIONAL-SOBRE-COSTES-DE-PRODUCCION-DEL-ACEITE-DE-OLIVA.pdf>) (acceso: 31 de mayo de 2021).
- Connor, D. J., Gómez-del-Campo, M. (2013). Simulation of oil productivity and quality of N-S oriented olive hedgerow orchards in response to structure and interception of radiation. *Scientia Horticulturae*, 150, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.032>

- Connor, D. J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M. C., Searles, P. S. (2014). Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: a review. *Scientia Horticulturae*, 169, 71-93. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.010>
- Connor, D. J., Gómez-del-Campo, M., Trentacoste, E. R. (2016). Relationships between olive yield components and simulated irradiance within hedgerows of various row orientations and spacings. *Scientia Horticulturae*, 198, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.009>
- DeJong, T. M., Doyle, J. F. (1985). The effect of row orientation on light distribution in hedgerow peach tree canopies. In *International Conference on Peach Growing* 173 (pp. 159-166). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1985.173.18>
- DeJong, T. M., (2008). Physiological and technological barriers to increasing production efficiency and economic sustainability of peach production systems in California. *Acta Horticulturae*. 772, 415-422. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.772.72>
- DeJong, T. M., Negron, C. M., Favreau, R., Day, K. R., Costes, E., Lopez, G., Guédon, Y. (2012). Using concepts of shoot growth and architecture to understand and predict responses of peach trees to pruning. 7th International Peach Symposium, Lleida. *Acta Horticulturae*, 2012, Lleida, Spain. 962, pp.225-232, 2012. <https://hal.inria.fr/hal-00828851>
- Dhiab, A. B., Zaier, H., Gaaliche, B., Fendri, M., Ayadi, M., Larbi, A. (2020). Vegetative growth, fruit distribution and oil quality in the canopy of olive trees grown under super high-density cropping system. *Italus Hortus*, 27, 82-95. <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2020.2.8295>
- Di Césare, L. U., Yáñez, C., Toncovich, M. E., Italia, R. (1999) Distribución y sumas de horas de frío durante el proceso del desarrollo de yemas florales del duraznero. XXII Congreso Argentino de Horticultura - San Miguel de Tucumán, 28 de septiembre al 1 de octubre de 1999.
- Di Vaio, C., Cirillo, C., Buccheri, M., Limongelli, F., (2009). Effect of interstock (M. 9 and M. 27) on vegetative growth and yield of apple trees (cv. "Annurca"). *Scientia Horticulturae*. 119(3), 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.019>
- Dias, A. B., Peça, J. O., Pinheiro, A. (2012). Long-Term Evaluation of the Influence of Mechanical Pruning on Olive Growing. *Agronomy Journal*, 104(1), 22-25. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0137>
- Díez, C. M., Moral, J., Cabello, D., Morello, P., Rallo, L., Barranco, D. (2016). Cultivar and tree density as key factors in the long-term performance of super high-density olive orchards. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1226. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01226>
- Dorigoni, A., Micheli, F. (2015). The fruit wall: are tall trees really necessary? *European fruit grower's magazine*, 6, 10-13.
- Ebel, R. C., Proebsting, E. L., Evans, R. G. (1995). Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience*, 30(6), 1229-1232. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.6.1229>
- FAO, (2009). ETo Calculator. Land and Water Digital Media Series, N° 36. FAO, Rome, Italy.
- Fereres, E., Henderson, D. W., Pruitt, W. O., Richardson, W. F., Bluff, R., Ayers, R. S. (1981). Basic irrigation scheduling. Cooperative Extension.

- Ferguson, L., Rosa, U. A., Castro-García, S., Krueger, G., JX, B. (2010). Mechanical harvesting of California table and oil olives. *Mechanical Harvesting of California Table and Oil Olives*, 1000-1011. <https://doi.org/10.1400/132343>
- Ferrari, H.; Ferrari, C.; Ferrari, F. (2006). CobCal v 2.1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Entre Ríos, Argentina.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., Ramírez, F. (2012). Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 238-253.
- Freixa, E., Gil, J. M., Tous, J., Hermoso, J. F. (2010). Comparative study of the economic viability of high-and super-high-density olive orchards in Spain. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): Olive Trends Symposium-From the 924 (pp. 247-254). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.924.31>
- Fundación del Instituto de Desarrollo Rural, (2013). Costos de producción frutícola, provincia de Mendoza - Argentina. [https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2014/02/Informe-con-tapa-Costos-fruticolas-2013\\_docx.pdf](https://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2014/02/Informe-con-tapa-Costos-fruticolas-2013_docx.pdf) (acceso: 12 de noviembre de 2019).
- Giacobone G., Castronuovo L., Tiscornia V., Allemandi L., (2018). Análisis de la cadena de suministro de frutas y verduras en Argentina. Proyecto de investigación: “Coherencia entre las Políticas de Prevención de Enfermedades No-transmisibles y las Políticas Agro-alimentarias en Argentina: Análisis del Marco Regulatorio Nacional”. Estudio financiado por IDRC-Canadá (Proyecto 108179-001). [https://www.ficargentina.org/wp-content/uploads/2018/03/1812\\_CadenaValor.pdf](https://www.ficargentina.org/wp-content/uploads/2018/03/1812_CadenaValor.pdf). (Acceso: abril 2020)
- Giancola S. I. (2017). Superación de brechas tecnológicas que limitan la calidad en las cadenas frutícolas. Instituto de Economía INTA. Programa Nacional Frutales n° 1105082. <https://inta.gob.ar/documentos/problematicas-de-innovacion-en-riego-en-alto-valle-aporte-a-lineamientos-de-accion> (acceso: mayo de 2020)
- Girona, J., Luna, M., Arbonés, A., Mata, M., Rufat, J., Marsal, J. (2002). Young olive trees responses (*Olea europea*, cv. Arbequina) to different water supplies. Water function determination. In IV International Symposium on Olive Growing 586 (pp. 277-280). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.586.53>
- Goldschmidt, E.E., (2014). Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front Plant Sci.* 5, 727. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>
- Gomez-del-Campo, M., Connor, D. J., Trentacoste, E. R. (2017). Long-term effect of intra-row spacing on growth and productivity of super-high density hedgerow olive orchards (cv. Arbequina). *Frontiers in Plant Science*, 8, 1790. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01790>
- Gómez-del-Campo, M., Trentacoste, E. R., Connor, D. J. (2020). Long-term effects of row spacing on radiation interception, fruit characteristics and production of hedgerow olive orchard (cv. Arbequina). *Scientia Horticulturae*, 272, 109583. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109583>
- Gordon, D., DeJong, T. M. (2007). Current-year and subsequent-year effects of crop-load manipulation and epicormic-shoot removal on distribution of long, short and epicormic shoot growth in *Prunus persica*. *Annals of botany*, 99(2), 323-332. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl262>

- Grattan, S. R., Berenguer, M. J., Connell, J. H., Polito, V. S., Vossen, P. M. (2006). Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural water management*, 85(1-2), 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.04.001>
- Hartmann, H. T., Porlingis, I. (1957). Effect of different amounts of winter chilling on fruitfulness of several olive varieties. *Botanical Gazette*, 119(2), 102-104. <https://doi.org/10.1086/335969>
- He, F.L., Fei, W.A.N.G., Wei, Q.P., Wang, X.W., Zhang, Q., (2008). Relationships between the distribution of relative canopy light intensity and the peach yield and quality. *Agricultural Science in China*. 7(3), 297-302. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60069-3](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60069-3)
- He, L., Schupp, J. (2018). Sensing and automation in pruning of apple trees: A review. *Agronomy*, 8(10), 211. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100211>
- Hehnen, D., Hanrahan, I., Lewis, K., McFerson, J., Blanke, M. (2012). Mechanical flower thinning improves fruit quality of apples and promotes consistent bearing. *Scientia Horticulturae*, 134, 241-244. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.011>
- Hernandez-Santana, V., Fernández, J. E., Cuevas, M. V., Perez-Martin, A., Diaz-Espejo, A. (2017). Photosynthetic limitations by water deficit: Effect on fruit and olive oil yield, leaf area and trunk diameter and its potential use to control vegetative growth of super-high density olive orchards. *Agricultural Water Management*, 184, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.016>
- Hossain, A. B. M. S., Mizutani, F., Onguso, J. M., El-Shereif, A. R., Rutto, K. L. (2006). Effect of summer pruning on shoot growth and fruit quality in peach [*Prunus persica*] trees trained as slender spindle bush type. *Memoirs of the Faculty of Agriculture-Ehime University (Japan)*, 51, 9-13. ISSN: 0424-6829.
- Hueso, A., Trentacoste, E. R., Junquera, P., Gómez-Miguel, V., Gómez-del-Campo, M. (2019). Differences in stem water potential during oil synthesis determine fruit characteristics and production but not vegetative growth or return bloom in an olive hedgerow orchard (cv. Arbequina). *Agricultural Water Management*, 223, 105589. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.006>
- Hueso, A., Camacho, G., Gomez-del-Campo, M. (2021). Spring deficit irrigation promotes significant reduction on vegetative growth, flowering, fruit growth and production in hedgerow olive orchards (cv. Arbequina). *Agricultural Water Management*, 248, 106695. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106695>
- Huffman, W. E. (2012). The status of labor-saving mechanization in US fruit and vegetable harvesting. *Choices*, 27(316-2016-6262). <http://www.jstor.org/stable/choices.27.2.08>
- Iglesias, I., Echeverria, G. (2022). Current situation, trends and challenges for efficient and sustainable peach production. *Scientia Horticulturae*, 296, 110899. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110899>
- Ikinci, A., Kuden, A., Ak, B. E. (2014a). Effects of summer and dormant pruning time on the vegetative growth, yield, fruit quality and carbohydrate contents of two peach cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 13(1), 84-90. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1614>

- Ikinci, A. (2014b). Influence of pre-and postharvest summer pruning on the growth, yield, fruit quality, and carbohydrate content of early season peach cultivars. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/104865>
- Informe FEPEDI e IDR (2017). Censo de productores de durazno para industria. (<http://www.fepedi.com.ar/wp-uploads/2017/12/Censo-de-Productores-de-Durazno-Industria-2017-1.pdf>) (acceso: abril 2020).
- Jacyna, T., (2002). Factors influencing lateral-branch formation in woody plants. *Acta Agrobotanica*. 55, 2-25.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Romero, J., Gogorcena, Y., Moreno, M. Á., Espada, J.L. (2011). Performance of peach and plum based rootstocks of different vigour on a late peach cultivar in replant and calcareous conditions. *Scientiae Horticulturae*. 129(1), 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.006>
- Karlidağ, H., Aslantaş, R. Eşitken, A. (2014). Effects of interstock (M9) length grafted onto MM106 rootstock on sylleptic shoot formation, growth and yield in some apple cultivars. *Journal of Agricultural Sciences*, 20 (3), 331-336. <https://doi.org/10.15832/tbd.63462>
- Kosina, J., (1994). Growth and bearing of 'Stanley' plum on clonal Myrobalans and 'Damas C' rootstock. *Acta Horticulturae*. 359, 249-255. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.359.38>
- Kour, D., Bakshi, P., Wali, V. K., Sharma, N., Sharma, A., Iqbal, M. (2018). Alternate Bearing in Olive—A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2281-2297. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.283>
- Kumar, M., Rawat, V., Rawat, J. M. S., Tomar, Y. K. (2010). Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 218-221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.027>
- Ladux, F. J., Rousseaux, M. C., Zanessi, O. C., Trentacoste, E. R. (2021). Características productivas de setos en alta y súper alta densidad de olivo (cv. Changlot) adaptados a la cosecha mecánica en la provincia de San Juan, Argentina. *Revista de fruticultura*, (84), 36-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8200725>
- Larsen, F. E., Higgins, S. S., Fritts Jr, R. (1987). Scion/interstock/rootstock effect on sweet cherry yield, tree size and yield efficiency. *Scientia Horticulturae*, 33(3-4), 237-247. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(87\)90071-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(87)90071-9)
- Lesičar, J., Šindrak, Z., Šic Žlabur, J., Voća, S., Skendrović Babojelić, M. (2016). Influence of fruit thinning and summer pruning on the yield and fruit quality of peach cultivar 'Royal Gem'. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 81(3), 155-159. <https://hrcak.srce.hr/178890>
- Lewallen, K. S., Marini, R. P. (2003). Relationship between flesh firmness and ground color in peach as influenced by light and canopy position. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(2), 163-170. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.2.0163>
- Lisandru, T.T., Fustos, A., Mitre, V., Dumitras, A., (2017). Sweet cherry (*Prunus avium* L.) and peach (*Prunus persica* L.) phenological growth stages according to BBCH scale. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Hortic.* 74(1), 65-67.

- Lo Bianco, R., Proietti, P., Regni, L., Caruso, T. (2021). Planting systems for modern olive growing: Strengths and weaknesses. *Agriculture*, 11(6), 494. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060494>
- Lodolini, E. M., Polverigiani, S., Cioccolanti, T., Santinelli, A., Neri, D. (2019). Preliminary Results about the Influence of Pruning Time and Intensity on Vegetative Growth and Fruit Yield of a Semi-Intensive Olive Orchard. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), 969-980. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-13245-en.html>
- López, G., Arbones, A., Del Campo, J., Mata, M., Vallverdu, X., Gomis, J. G., Vila, J. M. (2008). Response of peach trees to regulated deficit irrigation during stage II of fruit development and summer pruning. *Spanish Journal of Agricultural Research*. (3), 479-491.
- Lopresti, J., Goodwin, I., McGlasson, B., Holford, P., Golding, J. (2014). Variability in size and soluble solids concentration in peaches and nectarines. *Horticultural Reviews*, 42, 253-311. <https://doi.org/10.1002/9781118916827.ch05>
- Lordan, J., Gomez, M., Francescatto, P., Robinson, T.L., (2018). Long-term effects of tree density and tree shape on apple orchard performance, a 20-year study–part 2, economic analysis. *Scientiae Horticulturae*. 244, 435-444. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.031>
- Lordan, J., Zazurca, L., Maldonado, M., Torguet, L., Alegre, S., Miarnau, X., (2019). Horticultural performance of ‘Marinada’ and ‘Vairo’ almond cultivars grown on a genetically diverse set of rootstocks. *Scientiae Horticulturae*. 256,108-558. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108558>
- Maas, F.M., Balkhoven, J.M.T., Heijerman-Peppelman, G., Van der Steeg, P.A.H. (2011). Krymsk® 1 (VVA-1), a dwarfing rootstock suitable for high-density plum orchards in the Netherlands. *Acta Horticulturae*. 903, 547-554. [10.17660/ActaHortic.2011.903.76](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.76)
- Magdalena C., Di Prinzio A., Mignone C., Behmer S., Benítez Piccini E. (2011). Ayudas mecánicas para poda, cosecha y otras tareas culturales. *Revista Fruticultura y Diversificación*. Año 17, n° 66. ISSN: 1669-7057. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd\\_66\\_magdalena.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd_66_magdalena.pdf) (acceso: junio 2020)
- Magdalena, J. C., Raffo Benegas, M. D., Curetti, M., Romitelli, M. H. (2015). Prácticas de mecanización en fruticultura: Poda mecánica en verde y formación de espaldera plana a pared frutal. [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_fd-n75\\_poda-mecanica-en-verde.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fd-n75_poda-mecanica-en-verde.pdf) (acceso: junio 2020).
- Maldera, F., Vivaldi, G. A., Iglesias-Castellarnau, I., Camposeo, S. (2021). Row Orientation and Canopy Position Affect Bud Differentiation, Leaf Area Index and Some Agronomical Traits of a Super High-Density Almond Orchard. *Agronomy*, 11(2), 251. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020251>
- Mangeaud A, Elías Panigo DH. (2018). R-Medic: Un programa de análisis estadísticos sencillo e intuitivo. *Revista Methodo*. 3 (1) 18-22. Recuperado a partir de <https://methodo.ucc.edu.ar/index.php/methodo/article/view/64> (acceso: junio 2020).
- Marcon Filho, J. L., Kretschmar, A. A., Rufato, L., da Silva, L. C., Madeira, F. C., Ribeiro, R. S., Rufato, A. D. R. (2010). Evaluation of the productive and vegetative aspects of the cultivar 'Imperial

- Gala'apple tree with EM-9 interstem in different lengths. *Acta Horticulturae*, The Hague, 872, 375-378. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/867118>
- Marini, R. P., Sherif, S. (2020a). Pruning peach trees. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech, Virginia State University. Publication 422-020. <http://hdl.handle.net/10919/100448>
- Marini, R. P., Sherif, S., Smith, A. H. (2020b). Physiology of pruning fruit trees. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech, Virginia State University. Publication 422-025. <http://hdl.handle.net/10919/100448>
- Marra, F. P., Marino, G., Marchese, A., Caruso, T. (2016). Effects of different irrigation regimes on a super-high-density olive grove cv. "Arbequina": vegetative growth, productivity and polyphenol content of the oil. *Irrigation Science*, 34(4), 313-325. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0505-9>
- Martinazzo, E.G., Perboni, A.T., Farias, M.E., Bianchi, V.J., Bacarin, M.A., 2011. Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 23(3), 231-236. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202011000300007>
- Martínez-Gimeno, M. A., Zahaf, A., Badal, E., Paz, S., Bonet, L., Pérez-Pérez, J. G. (2021). Effect of progressive irrigation water reductions on super-high-density olive orchards according to different scarcity scenarios. *Agricultural Water Management*, 262, 107399. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107399>
- Martin-Górriz, B., Castillo, I. P., Torregrosa, A. (2014). Effect of mechanical pruning on the yield and quality of "Fortune" mandarins. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (4), 952-959. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014124-5795>
- Martín-Vertedor, A. I., Rodríguez, J. M. P., Losada, H. P., Castiel, E. F. (2011). Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*olea europaea* L., cv. Morisca) I.—Growth and water relations. *Agricultural Water Management*, 98(6), 941-949. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.002>
- McFadyen, L., Robertson, D., Sedgley, M., Kristiansen, P., Olesen, T. (2013). Production trends in mature macadamia orchards and the effects of selective limb removal, side-hedging, and topping on yield, nut characteristics, tree size, and economics. *HortTechnology*, 23(1), 64-73. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.1.64>
- Mediene, S., Jordan, M. O., Pagès, L., Lebot, J., Adamowicz, S. (2002). The influence of severe shoot pruning on growth, carbon and nitrogen status in young peach trees (*Prunus persica*). *Tree physiology*, 22(18), 1289-1296. <https://doi.org/10.1093/treephys/22.18.1289>
- Menzel, C.M., Le Lagadec M.D., (2017). Can the productivity of mango orchards be increased by using high-density plantings? *Scientia Horticulturae*. 218, 222-263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.041>
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Moreno, M.A., (2017). Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of 'Catherina' peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15 (1), e0901. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017151-9950>
- Mezghani, M. A., Charfi, C. M., Gouiaa, M., Labidi, F. (2012). Vegetative and reproductive behaviour of some olive tree varieties (*Olea europaea* L.) under deficit irrigation regimes in

- semi-arid conditions of Central Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 146, 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.030>
- Mika, A., Buler, Z., Rabcewicz, J., Białkowski, P., Konopacka, D. (2015). Suitability of plum and prune cultivars, grown in a high-density planting system, for mechanical harvesting with a canopy contact, straddle harvester. *Journal of Horticultural Research*, 23(2), 69-81. <https://doi.org/10.2478/johr-2015-0017>
- Mika, A., Buler, Z., Treder, W. (2016). Mechanical pruning of apple trees as an alternative to manual pruning. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 15(1), 113-121.
- Miller, S. S., 2002. Prohexadione-Calcium controls vegetative shoot growth in apple. *J Tree Fruit Production*, 3(1), 11-28. [https://doi.org/10.1300/J072v03n01\\_02](https://doi.org/10.1300/J072v03n01_02)
- Monasterio, R. P., Banco, A. P., Caderón, F. J., Trentacoste, E. R. (2021). Effects of pre-harvest deficit irrigation during the oil accumulation period on fruit characteristics, oil yield extraction, and oil quality in olive cv. Genovesa in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management*, 252, 106901. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106901>
- Monselise, S. P., Goldschmidt, E. E. (1982). Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural reviews*, 4(1), 128-173.
- Moriana, A., Pérez-López, D., Prieto, M. H., Ramírez-Santa-Pau, M., Pérez-Rodríguez, J. M. (2012). Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agricultural Water Management*, 112, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.003>
- Moriana, A., Villalobos, F. J., Fereres, E. (2002). Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment*, 25(3), 395-405. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00822.x>
- Musacchi, S., Abeti, C., Ancarani, V., Bucci, D., Gagliardi, F., Serra, S. (2012). Summer pruning of apricot cvs. 'Bora®' and 'Carmen Top®'. In X International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 1058 (pp. 85-93). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1058.8>
- Nalage, N. A., Magar, S. D., Bhosale, S. S., Mhetre, D. A. (2010). Effect of height of rootstock on success of epicotyl grafting in mango (*Mangifera indica* L.) cv. KESAR. *International Journal of Agricultural Sciences*, 6(1), 124-128.
- Nerozzi, F., Rossi, F., Facini, O., Georgiadis, T. (1997). Light transmittance and sunlit leaf area estimation in a peach canopy. *Journal of horticultural science*, 72(2), 271-283. <https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515514>
- Novello, R., Bueno, L. A., Andrieu, J., Miranda, O. (2014). Comparative study of mechanical harvesting costs for different planting models in San Juan, Argentina. *Acta Horticulturae*, (1057), 453-456. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.57>
- Oliveira, J.A.A., Bruckner, C.H., Silva, D.F.P.D., Santos, C.E.M.D., Soares, W.D.S., Nunes, L.V., (2019). Performance of interstocks in the plant development and fruit quality of plum trees. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39928>
- Olmstead, M.A., Lang, N.S., Ewers, F.W., Owens, S.A., (2006). Xylem vessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and non-dwarfing rootstocks. *Journal of the American*

Society for Horticultural Science. 131(5), 577-585.  
<https://doi.org/10.21273/JASHS.131.5.577>

Ortiz, C., Torregrosa, A., Ortí, E., Balasch, S. (2020). Mechanical Thinning of Mandarins with a Branch Shaker. *HortTechnology*, 1(aop), 1-6. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04451-20>

Ottanelli, A., Marone, E., Fiorino, P. (2019). A new device to improve the mechanical winter pruning in olive trees hedgerows. *Advances in Horticultural Science*, 33(1), 113-122. <https://doi.org/10.13128/ahs-24787>

Oyarzún, R., Stöckle, C., Wu, J., Whiting, M. (2011). In field assessment on the relationship between photosynthetic active radiation (PAR) and global solar radiation transmittance through discontinuous canopies. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(1), 122. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000100015>

Palmer, J. W. (1989). The effects of row orientation, tree height, time of year and latitude on light interception and distribution in model apple hedgerow canopies. *Journal of Horticultural Science*, 64(2), 137-145. <https://doi.org/10.1080/14620316.1989.11515937>

Paunero I. E. (2017). Seguridad, higiene y ergonomía en cultivos intensivos: Investigación y capacitación. *Agropost* 148, 22-24. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/2427>

Peavey, M., Goodwin, I., McClymont, L. (2020). The Effects of Canopy Height and Bud Light Exposure on the Early Stages of Flower Development in *Prunus persica* (L.) Batsch. *Plants*, 9(9), 1073. <https://doi.org/10.3390/plants9091073>

Peterson, D. L., Wolford, S. D. (2003). Fresh-market quality tree fruit harvester part II: Apples. *Applied engineering in agriculture*, 19(5), 545. <https://doi.org/10.13031/2013.15313>

Pezzi, F., Martelli, R. (2015). Technical and economic evaluation of mechanical grape harvesting in flat and hill vineyards. *Transactions of the ASABE*, 58(2), 297-303. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10997>

Poni, S., Tombesi, S., Palliotti, A., Ughini, V., Gatti, M. (2016). Mechanical winter pruning of grapevine: physiological bases and applications. *Scientia Horticulturae*, 204, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.046>

Rapoport, H. F., Hammami, S. B., Martins, P., Pérez-Priego, O., Orgaz, F. (2012). Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.021>

Rapoport, H. F. (2014). The reproductive biology of the olive tree and its relationship to extreme environmental conditions. In VII International Symposium on Olive Growing 1057 (pp. 41-50). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.2>

Ravetti, L. M. (2004). Evaluation of new olive mechanical harvesting technologies in Australia. In V International Symposium on Olive Growing 791 (pp. 387-392). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.791.56>

Rogers W.S., Beakbane A.B., (1957). Stock and scion relations. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 8(1), 217–236. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.08.060157.001245>

- Rosati, A., Paoletti, A., Al Hariri, R., Famiani, F. (2018a). Fruit production and branching density affect shoot and whole-tree wood to leaf biomass ratio in olive. *Tree Physiology*, 38(9), 1278-1285. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy009>
- Rosati, A., Paoletti, A., Al Hariri, R., Morelli, A., Famiani, F. (2018b). Resource investments in reproductive growth proportionately limit investments in whole-tree vegetative growth in young olive trees with varying crop loads. *Tree Physiology*, 38(9), 1267-1277.
- Ryan, M. G., Oren, R., Waring, R. H. (2018). Fruiting and sink competition. *Tree Physiology*, 38(9), 1261-1266. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy011>
- Ryugo, K., Mikuckis, F. (1969). Sweet cherry hedgerow planting. *California Agriculture*, 23(11), 14-15. <https://calag.ucanr.edu/archive/?type=pdf&article=ca.v023n11p14>
- Sánchez E. E. (2020) Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. INTA Ediciones. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7906>
- Sansavini, S. (1976). Mechanical pruning of fruit trees. In *Symposium on High Density Planting* 65 (pp. 183-198).
- Scalisi, A., Lo Bianco, R., Caruso, T., Giovannini, D., Sirri, S. and Fontana, F., (2018). Preliminary evaluation of six *Prunus* rootstocks for peach in Italy. *Acta Horticulturae*. 1228, 273-278. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1228.41>
- Schupp, J. R., Baugher, T. A., Miller, S. S., Harsh, R. M., Lesser, K. M. (2008). Mechanical thinning of peach and apple trees reduces labor input and increases fruit size. *HortTechnology*, 18(4), 660-670. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.4.660>
- Seleznyova, A.N., Tustin, D.S., Thorp, T.G., (2008). Apple dwarfing rootstocks and interstocks affect the type of growth units produced during the annual growth cycle: precocious transition to flowering affects the composition and vigour of annual shoots. *Annals of Botany*. 101(5), 679-687. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn007>
- Shackel, K., Moriana, A., Marino, G., Corell, M., Pérez-López, D., María, J., Searles, P. S. (2021). Establishing a reference baseline for midday stem water potential in olive and its use for plant-based irrigation management. *Frontiers in Plant Science*, 2715. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791711>
- Siham, M., Bussi, C., Lescourret, F., Génard, M., Habib, R., Gilreath, J. (2005). Pruning intensity and fruit load influence on vegetative and fruit growth in 'Alexandra' peach. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 118, pp. 266-269).
- Smart, R. E., Dick, J. K., Gravett, I. M., Fisher, B. M. (1990). Canopy management to improve grape yield and wine quality-principles and practices. *South african journal of Enology and Viticulture*, 11(1), 3-17. <https://doi.org/10.21548/11-1-2232>
- Sola-Guirado, R. R., Castillo-Ruiz, F. J., Blanco-Roldan, G. L., Gonzalez-Sanchez, E., Castro-García, S. (2020). Mechanical canopy and trunk shaking for the harvesting mechanization of table olive orchards. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(2), 124-139. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCFA/article/view/4030>
- Sosna, I., Kortylewska, D. (2013). Estimation of interstock and intermediate stock usefulness for summer pear cvs. budded on two rootstocks. *Journal of Horticultural Research*, 21(1), 79-82. <https://doi.org/10.2478/johr-2013-0011>

- Szabó, Z., Nyéki, J. (2003). Bud-, flower-and fruit-density in stone fruits. *International Journal of Horticultural Science*, 9(3-4), 59-69. <https://doi.org/10.31421/IJHS/9/3-4/407>
- Tagliavini, M., Millard, P., Quartieri, M. (1998). Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) trees. *Tree physiology*, 18(3), 203-207. <https://doi.org/10.1093/treephys/18.3.203>
- Tombesi, A., Proietti, P. (1996). Translocation of assimilates and source-sink influences on productive characteristics of the olive tree. *Advances in horticultural science* 10, 11-14. <https://doi.org/10.1400/75282>
- Tombesi, S., Johnson, R.S., Day, K.R., DeJong, T.M., (2010). Interactions between rootstock, inter-stem and scion xylem vessel characteristics of peach trees growing on rootstocks with contrasting size-controlling characteristics. *AoB Plants* 2010, plq013. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plq013>
- Tombesi, A., Farinelli, D., Ruffolo, M., Sforza, A. (2012). First results of olive mechanical pruning. In VI International Symposium on Olive Growing. *Acta Horticulturae* 949, 409-414. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.949.60>
- Torregrosa, A., Martín, B., Brunton, J. G., Bernad, J. J. (2008). Mechanical harvesting of processed peaches. *Applied engineering in agriculture*, 24(6), 723-729. <https://doi.org/10.13031/2013.25364>
- Tous, J. (2010). Olive production systems and mechanization. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): Olive Trends Symposium - From the Olive Tree to Olive Oil: New Trends and Future Challenges. *Acta Horticulturae* 924, 169-184. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.924.22>
- Trentacoste, E. R., Puertas, C. M., Sadras, V. O. (2015). Effect of irrigation and tree density on vegetative growth, oil yield and water use efficiency in young olive orchard under arid conditions in Mendoza, Argentina. *Irrigation Science*, 33(6), 429-440. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0479-z>
- Trentacoste, E. R., Moreno-Alías, I., Gómez-del-Campo, M., Beyá-Marshall, V., Rapoport, H. F. (2017). Olive floral development in different hedgerow positions and orientations as affected by irradiance. *Scientia Horticulturae*, 225, 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.029>
- Trentacoste, E. R., Calderón, F. J., Puertas, C. M., Banco, A. P., Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Connor, D. J. (2018). Vegetative structure and distribution of oil yield components and fruit characteristics within olive hedgerows (cv. Arbosana) mechanically pruned annually on alternating sides in San Juan, Argentina. *Scientia Horticulturae*, 240, 425-429. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.045>
- Trentacoste, E. R., Calderón, F. J., Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Banco, A. P., Puertas, C. M. (2019). Effect of regulated deficit irrigation during the vegetative growth period on shoot elongation and oil yield components in olive hedgerows (cv. Arbosana) pruned annually on alternate sides in San Juan, Argentina. *Irrigation Science*, 37(4), 533-546. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00632-8>
- Trentacoste, E. R., Connor, D. J., Gómez-del-Campo, M. (2021). Response of Oil Production and Quality to Hedgerow Design in Super-High-Density Olive cv. Arboquina Orchards. *Agronomy*, 11(8), 1632. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081632>

- Uberti, A., Giacobbo, C. L. (2019). Performance of 'Eragil' peach trees grown on different training systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 16-21. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i1.1895>
- Uceda, M., Frías, L. (1975). Épocas de recolección. Evolución del contenido graso del fruto y de la composición y calidad del aceite. *Proceedings of II Seminario Oleícola International*. Córdoba, Spain, 25-46.
- Vega, V., Hidalgo, J. C., Hidalgo, J. (2008). Poda del olivo en la olivicultura intensiva. *Agricultura*, 906, 308-315.
- Wagenmakers, P.S., Wertheim, S.J., (1991). Planting systems for fruit trees in temperate climates. *Crit. Rev. Plant Sci.* 10(4), 369-385. <https://doi.org/10.1080/07352689109382317>
- Webster, A. D. (1995). Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 23(4), 373-382. <https://doi.org/10.1080/01140671.1995.9513913>
- Webster, A.D., (1997). A review of fruit tree rootstock research and development. *Acta Hort.* 451, 53-74. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.451.3>
- Weibel, A., Johnson, R.S., DeJong, T.M., (2003). Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128(4), 463-471. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0463>
- Weibel, A.M., Reighard, G.L., (2011). Interstems but not grafting height control vegetative growth of young 'Redhaven' peach trees. *Acta Horticulturae*. 903, 513-519. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.71>
- Wheaton, T. A., Whitney, J. D., Castle, W. S., Muraro, R. P., Browning, H. W., Tucker, D. P. H. (1995). Citrus scion and rootstock, topping height, and tree spacing affect tree size, yield, fruit quality, and economic return. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5), 861-870. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.861>
- Wheaton, T. A., Castle, W. S., Tucker, D. P. H., Whitney, J. D. (1979). Higher density plantings for Florida citrus: concepts. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*.
- Wood, B. W., Stahmann, D. (2004). Hedge pruning pecan. *HortTechnology*, 14(1), 63-72. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.1.0063>
- Zarrouk, O., Testillano, P.S., Risueño, M.C., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y., (2010). Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 135(1), 9-17. <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.1.9>
- Zhang, B. B., Xu, J. L., Zhou, M., Yan, D. H., Ma, R. J. (2018). Effect of light quality on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of peach (*Prunus persica* L. Batch). *Photosynthetica*, 56(4), 1113-1122. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0820-x>
- Zhang, L., Koc, A. B., Wang, X. N., Jiang, Y. X. (2018). A review of pruning fruit trees. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 153, p. 062029). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/153/6/062029>

## ANEXO

**Cuadro 1.** Cronología de la aplicación de tratamientos de poda manual y poda mecánica (en tres momentos) y variables medidas, en duraznero de industria cv Pavie Catherine (Capítulo III).

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
Manual invernol (HW)	1. ASTT	1. Dimensiones de seto prepoda 2. <b>PODA</b> 3. Restos de poda 4. Dimensiones de seto pospoda		1. Longitud total de brindillas 2. Largo medio de brotes 3. Densidad floral y frutal preraleo	1. Cuaje	1. Raleo		1. Cosecha 2. Dimensiones Cosecha 3. Área Foliar
Mecánica invernol (MW)	1. ASTT	1. Dimensiones de seto prepoda 2. <b>PODA</b> 3. Restos de poda 4. Dimensiones de seto pospoda		1. Longitud total de brindillas 2. Largo medio de brotes 3. Densidad floral y frutal preraleo	1. Cuaje	1. Raleo		1. Cosecha 2. Dimensiones Cosecha 3. Área Foliar
Mecánica Pre Raleo (MR)	1. ASTT			1. Longitud total de brindillas 2. Largo medio de brotes 3. Densidad floral y frutal preraleo	1. Cuaje 2. Dimensiones de seto prepoda 3. <b>PODA</b> 4. Restos de poda 5. Dimensiones de seto pospoda	1. Raleo		1. Cosecha 2. Dimensiones Cosecha 3. Área Foliar
Mecánica Poscosecha (MC)	1. ASTT			1. Longitud total de brindillas 2. Largo medio de brotes 3. Densidad floral y frutal preraleo	1. Cuaje	1. Raleo		1. Cosecha 2. Dimensiones Cosecha 3. Área Foliar 4. Dimensiones de seto prepoda 5. <b>PODA</b> 6. Restos de poda *Dimensiones de seto pospoda

\*la secuencia de las intervenciones de poda y mediciones realizadas indica el orden en que fueron ejecutadas.