

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL RIEGO DE VERANO SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO EN  
LOS CULTIVARES DE OLIVO ARBEQUINA Y FRANTOIO**

**por**

**Guzmán MEDINA UMPIERRE**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2022**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

---

Ing. Agr. (Dra). Mercedes Arias

Tribunal:

---

Ing. Agr. (Dra). Vivian Severino

---

Ing. Agr. (Msc). Paula Conde

Fecha: 23 de diciembre de 2022

Estudiante:

---

Guzmán Medina Umpierre

## AGRADECIMIENTOS

Tras dos años de trabajo, quiero agradecer a todas las personas que participaron en este proceso de formación académica, ayudándome con las mediciones en el campo y desde los escritorios con la elaboración escrita.

Gracias a mi familia que siempre me apoyó y me dio la oportunidad de estudiar, a mis amigos y a mi novia que me apoyaron y soportaron. A Mercedes Arias, por su enfoque crítico, enseñándome que, muchas veces las preguntas dicen más que las respuestas.

A Vivian Severino por darle significancia estadística a los datos recabados y a Paula Conde, que junto a INIA LB, me recibieron de puertas abiertas y ayudaron en los trabajos de campo que tuve que realizar. Por último y no menos importante, a cada docente de facultad que logró estimular mi vocación agronómica.

Espero que este trabajo aporte al rubro olivícola y la investigación nacional.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| HOJA DE APROBACIÓN.....  | II  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | III |
| LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....   | VI  |
| 1 INTRODUCCIÓN.....  | 1   |
| 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 3   |
| 2.1 OLIVICULTURA EN EL URUGUAY.....  | 3   |
| 2.2 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL OLIVO Y APTITUD DEL URUGUAY PARA SU CULTIVO..... | 5   |
| 2.2.1 Requerimientos edafo-climáticos del olivo.....                               | 5   |
| 2.2.2 Aptitud del Uruguay para el cultivo del olivo.....                           | 8   |
| 2.3 DESCRIPCIÓN DE ARBEQUINA Y FRANTOIO.....                                       | 12  |
| 2.3.1 Arbequina.....   | 12  |
| 2.3.2 Frantoio.....  | 13  |
| 2.4 SISTEMAS DE PRODUCCION Y PROBLEMÁTICAS PRODUCTIVAS EN EL URUGUAY.....          | 14  |
| 2.5 RESPUESTA DEL OLIVO AL RIEGO.....  | 17  |
| 2.5.1 Investigación nacional de riego en olivo.....                                | 22  |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 24  |
| 3.1 SITIO EXPERIMENTAL Y MATERIAL VEGETAL UTILIZADO.....                           | 24  |
| 3.2 CLIMA.....   | 26  |
| 3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....  | 27  |
| 3.4 MEDICIONES.....  | 27  |
| 3.4.1 Parámetros hídricos.....   | 27  |
| 3.4.2 Descripción de la brindilla.....   | 28  |
| 3.4.3 Variables objetivo.....  | 28  |
| 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....  | 29  |
| 4 RESULTADOS.....  | 30  |
| 4.1 ARBEQUINA.....   | 30  |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 4.1.1 | Parámetros hídricos .....           | 30 |
| 4.1.2 | Descripción de la brindilla.....    | 32 |
| 4.1.3 | Variables objetivo.....             | 35 |
| 4.2   | FRANTOIO .....                      | 40 |
| 4.2.1 | Parámetros hídricos .....           | 40 |
| 4.2.2 | Descripción de las brindillas ..... | 42 |
| 4.2.3 | Variables objetivo.....             | 45 |
| 5     | DISCUSIÓN .....                     | 51 |
| 6     | CONCLUSIÓN .....                    | 54 |
| 6.1   | CONSIDERACIONES FINALES.....        | 54 |
| 7     | RESUMEN .....                       | 55 |
| 8     | SUMMARY.....                        | 56 |
| 9     | BIBLIOGRAFÍA .....                  | 57 |

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Evolución de producción, importación y consumo de aceite de oliva. ....   | 4  |
| <b>Tabla 2</b> Efecto del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción de aceite para olivos de acuerdo al momento del déficit (HN). ....                       | 18 |
| <b>Tabla 3</b> Resumen de trabajos realizando déficit hídrico desde fase II de crecimiento de fruto hasta cosecha .....  | 20 |
| <b>Tabla 4</b> Cuadro comparativo de calibre de ramas base según carga de fruta y tratamiento de riego para la primera y la última fecha de muestreo para Arbequina.....       | 39 |
| <b>Tabla 5</b> Volumen de copa al inicio y al final de la temporada de crecimiento, rendimiento y eficiencia productiva según tratamiento para cultivar Arbequina. ....        | 40 |
| <b>Tabla 6</b> Cuadro comparativo de calibre de ramas según carga de fruta y tratamiento de riego para la primera y la última fecha de muestreo en Frantoio.....               | 49 |
| <b>Tabla 7</b> Tabla volumen de copa al inicio y al final de la temporada de crecimiento, rendimiento y eficiencia productiva según tratamiento de riego para Frantoio. ....   | 50 |
| <br>   |    |
| <b>Figura 1</b> Distribución promedio anual de DPV (mb) en Uruguay y España (2009-2020) .....  | 10 |
| <b>Figura 2</b> Desarrollo de las principales etapas fenológicas de los cultivares Arbequina y Frantoio .....  | 14 |
| <b>Figura 3</b> Foto de los dos cultivares de estudio en INIA LB. ....   | 25 |
| <b>Figura 4</b> Evaporación “Penman” (mm), precipitación acumulada (mm) y temperatura media (°C) desde 1/10/2020 hasta 30/04/2021 .....  | 26 |
| <b>Figura 5</b> Foto de brindillas seleccionadas .....   | 27 |
| <b>Figura 6</b> Evolución del potencial hídrico de la hoja (MPa) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Arbequina. .     | 31 |
| <b>Figura 7</b> Conductancia estomática (mmol/m <sup>2</sup> s) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Arbequina. ....   | 32 |
| <b>Figura 8</b> Gráfico de cajas para las variables: NNB, CALIBREi, Flores/100N (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B |    |

|   |    |
|---|----|
| (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Arbequina. para el cultivar Arbequina. ....  | 33 |
| <b>Figura 9</b> Gráfico de cajas para las variables: Frutos/100N y Cuaj. (%Cuajado) para el cultivar Arbequina(1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga). ....  | 34 |
| <b>Figura 10</b> Correlación de variables de estudio de Arbequina. ....   | 35 |
| <b>Figura 11</b> Evolución en el tiempo del NNN/100N para los seis tratamientos (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Arbequina. La flecha indica el inicio de los tratamientos. .... | 36 |
| <b>Figura 12</b> Evolución en el tiempo del NNN/pan para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Arbequina. LA flecha indica el inicio de los tratamientos. ....              | 38 |
| <b>Figura 13</b> Evolución del potencial hídrico de la hoja (MPa) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Frantoio. ...  | 41 |
| <b>Figura 14</b> Conductancia estomática durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Frantoio. ....  | 42 |
| <b>Figura 15</b> Gráfico de cajas para las variables: NNB, CALIBREi, Flores/100N (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) del cultivar Frantoio. ....   | 43 |
| <b>Figura 16</b> Gráfico de cajas para las variables: Frutos/100N y Cuaj. (%Cuajado) (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Frantoio. ....   | 44 |
| <b>Figura 17</b> Correlación de variables de estudio de Frantoio. ....  | 45 |
| <b>Figura 18</b> Evolución en el tiempo del NNN/100N para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Frantoio. ....  | 47 |
| <b>Figura 19</b> Evolución en el tiempo del NNN/pan para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Frantoio. ....   | 48 |

## 1 INTRODUCCIÓN

En Uruguay, para el año 2020, la superficie total destinada a la producción era de 7.161 ha, siendo el segundo rubro frutícola con mayor extensión del país. Los cultivares con mayor presencia en la producción son: Arbequina (47% de la superficie); Coratina un 21%; Picual un 11% y Frantoio con un 10% de la superficie. Del total del área cultivada sólo un 13% cuenta con riego (MGAP. DIEA, 2020)

En los últimos 20 años el sector olivícola ha incrementado la superficie de producción. Este aumento en la superficie fue liderado por inversiones privadas, las cuales carecían de asesoramiento técnico local, dado que la formación universitaria en el área era escasa. Ante esta situación de demanda por información del sector privado y con el objetivo de estudiar el comportamiento vegetativo-reproductivo del olivo en condiciones locales, se implantaron módulos experimentales en INIA Salto Grande e INIA Las Brujas

Según Conde-Innamorato et al. (2019), una de las principales dificultades que enfrenta hoy el sector es la alternancia o vecería productiva. Esta situación se presenta como una desventaja, ya que se logran años de alta producción seguidos de años de escasa producción. Esto genera ingresos inestables a lo largo del tiempo e incertidumbre productiva. Las alternativas de manejo para reducir la alternancia son varias. Una de ellas es utilizar riego de forma tal que el crecimiento vegetativo durante la estación de crecimiento sea significativo incluso en años de alta carga.

Sin embargo, la investigación nacional en el rubro en general y en riego en particular es aún escasa por lo que, avances en este sentido son necesarios para conocer el comportamiento del cultivo implantado en sitios no tradicionales de clima templado, como es el caso de Uruguay. La hipótesis productiva en la que se enmarca el trabajo es que al mejorar el estado hídrico de las plantas con el riego se mejora la capacidad fotosintética y el crecimiento de nuevas estructuras, por lo que existirá un mayor potencial para el desarrollo de las brindillas. En dichas condiciones se obtendría una planta más equilibrada en su competencia entre desarrollo vegetativo y reproductivo.

En el contexto mencionado, el trabajo tiene por **objetivo** evaluar el efecto del riego a partir del endurecimiento del endocarpio y la presencia de fruto sobre el crecimiento vegetativo en los cultivares de olivo Arbequina y Frantoio.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 OLIVICULTURA EN EL URUGUAY

En el siglo XVI, durante el período colonial, se trasportó desde Europa a América Central una amplia variedad de material vegetal (semillas, bulbos, tubérculos, frutos), incluido el olivo (Patiño, 1990).

En el año 1780, llegaron a Uruguay las primeras plantas de olivo, desde Buenos Aires (origen español). Luego, en 1810 llegó la “segunda partida”, esta vez alcanzó las 250 estacas de olivos que se implantaron en los alrededores del arroyo Miguelete, Montevideo. Más tarde se instalaron plantaciones en los departamentos de Maldonado y Canelones. En 1888 se registraron 7000 litros de aceite de oliva anuales en la localidad de Suarez. Se dio un gran impulso al cultivo hasta fines de 1960. Fue entonces cuando se comenzó a extraer aceite de cereales y a abaratar su costo, por lo que las plantaciones de olivo fueron abandonadas. Luego resurgiría en los años 2000 reiniciando su etapa de auge hasta la actualidad (Pereira Benítez, 2015).

En la actualidad, se encuentran cultivadas aproximadamente 7160 ha distribuidas en todo el país. La densidad de plantación utilizada en promedio es 289 plantas/ha. En términos relativos, Maldonado, departamento situado al sur-este del país, abarca un 80% de la superficie de producción. Un 90% de la paleta varietal se distribuye en cuatro cultivares. Predomina Arbequina con un 47%, seguido por Coratina con un 21%, Picual 11% y Frantoio 10%. La gran mayoría de la superficie implantada se encuentra bajo régimen de secano, siendo apenas el 13% de la superficie que cuenta con riego. (MGAP. DIEA, 2020)

El principal destino de la producción es la elaboración de aceite de calidad. Según la Asociación Olivícola Uruguaya (ASOLUR, 2021) se producen aproximadamente unas 550 toneladas anuales de aceite. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 1, elaborada a partir de Arenare y Ortiz (2020), la producción de aceite no es uniforme entre los años. Por otra parte, el consumo de aceite mantiene una tendencia al alza desde el año muestreado hasta la actualidad.

**Tabla 1**

*Evolución de producción, importación y consumo de aceite de oliva.*

| <b>Año de cosecha</b> | <b>Producción<br/>(t aceite)</b> | <b>Importación<br/>(t aceite)</b> | <b>Consumo<br/>(t aceite)</b> |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 2013                  | 110                              | 1032                              | 1400                          |
| 2014                  | 700                              | 930                               | 1500                          |
| 2015                  | 385                              | 1107                              | 1600                          |
| 2016                  | 600                              | 1111                              | 1650                          |
| 2017                  | 9000                             | 1084                              | 1700                          |
| 2018                  | 300                              | 1038                              | 1700                          |
| 2019                  | 2541                             | 985                               | 1800                          |
| 2020*                 | 295                              | 666                               | 1050                          |

\*Datos correspondientes al período abril – octubre 2020.

**Fuente:** adaptado de Arenare y Ortiz (2020).

Según ASOLUR (2021), a partir de julio de 2013, Uruguay comenzó a ser miembro del Consejo Oleícola Internacional (COI), organismo que regula lo relativo al aceite de oliva y a las aceitunas de mesa. Actualmente hay en Uruguay dos laboratorios de calidad fisicoquímica y uno de calidad sensorial certificados por el COI, que han demostrado la alta calidad en los aceites obtenidos. A su vez, el sector privado ha obtenido diferentes reconocimientos en concursos internacionales (Leone D'oro 2016 – Italia; Terraolivo 2016- Israel; Los Ángeles International Extra Virgen Olive Oil Competition 2016- EE. UU, entre otros) que avalan la buena calidad de los aceites producidos.

Según estudios nacionales realizados en diferentes años y variedades, la calidad del aceite producido cumple con los requerimientos (COI y Codex Stan 33-Codex Alimentarius) para ser catalogado como aceite de oliva extra virgen. (Villarino y Cabrera, 2011, Ferronato y Riella, 2017).

## 2.2 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL OLIVO Y APTITUD DEL URUGUAY PARA SU CULTIVO

### 2.2.1 Requerimientos edafo-climáticos del olivo

#### 2.2.1.1 Temperatura

Los sitios tradicionales y de mayor producción de olivos se encuentran en la cuenca mediterránea (Andalucía y Calabria) entre las latitudes 30° y 45° norte. La temperatura media de la zona se encuentra alrededor de los 16-17°C, con inviernos generalmente suaves con mínimas promedio de 7°C (Castillo, 2012).

Ayerza y Steven Sibbett (2001) señalan que el daño por heladas en olivos es frecuente en algunas zonas de alta amplitud térmica diaria. Según un estudio realizado por Larcher (2000), evaluando el daño causado por bajas temperaturas en plantas en el Mediterráneo, estableció el umbral de temperatura letal 50 (50% de daño) para olivos, siendo -6°C para raíces, -12°C para hojas y yemas, y -16°C para cambium y xilema. Sin embargo, Villalobos y López-Bernal (2017), señalan que el nivel de los daños ocasionados por las bajas temperaturas depende de una serie de factores, como son: tamaño del árbol, aclimatación y duración de la exposición.

En cuanto a las bajas temperaturas como recurso para el desarrollo de los olivos, la exposición de yemas a frío moderado es necesario para que ocurra la brotación de inflorescencias en primavera (Melo-Abreu et al., 2004, Villalobos y López-Bernal, 2017, Rallo y Cuevas, 2017). Melo-Abreu et al. (2004) establecen un rango de temperatura óptima de acumulación de frío para el sitio del experimento, Córdoba, España. El mismo se sitúa entre 0 y 15°C, siendo el máximo de acumulación a los 7°C. Cuando las temperaturas mínimas superaron los 12°C, no se observó acumulación de horas de frío. En este sentido, plantaciones situadas en latitudes menores a 30° podrían sufrir problemas por falta de acumulación de frío y es necesario un ajuste de un modelo planteado para cada sitio particular y variedad (Melo-Abreu et al., 2004, Torres et al., 2017). Sin embargo, existe evidencia a nivel molecular mediante la evaluación de la expresión del gen *FT* que señalan al frío como un factor ambiental inductor de la floración (Haberman et al., 2017). Estos autores señalan que, si bien el efecto inhibitorio de los

frutos ocurre en etapas anteriores, durante el invierno el frío induce la floración y no la brotación. Los requerimientos de frío invernal y los procesos fisiológicos involucrados son temas aún en controversia.

Durante la floración, las temperaturas extremas (altas o bajas) reducen la polinización y el cuajado de frutos (Villalobos y López-Bernal, 2017). Los autores explican este fenómeno a partir de la incidencia de la temperatura en la velocidad de desarrollo de las flores. Siendo que, a menor temperatura, la floración se dilatará más en el tiempo, mientras que, a mayor temperatura la floración será más concentrada en el tiempo. Por lo tanto, eventos que conspiran contra la polinización como temperaturas muy altas, lluvias o alta humedad relativa tendrán un mayor impacto en primaveras cálidas.

La temperatura basal del olivo es de 10°C y la aparición de un nudo nuevo requiere 63°GD. El máximo valor de fotosíntesis neta (12,1 micro mol/m<sup>2</sup>/s) se alcanza a los 25°C de temperatura (Villalobos y López-Bernal, 2017).

#### 2.2.1.2 Requerimientos hídricos y su adaptación a condiciones áridas

El cultivo del olivo tradicionalmente ha sido cultivado bajo condiciones de secano, debido a que presenta ciertas adaptaciones morfológicas a períodos de sequía (Orgaz et al., 2017). Según Castillo (2012) el régimen pluviométrico en las zonas tradicionales de producción varía entre 300 y 500mm anuales, los cuales se distribuyen en los meses de invierno principalmente. Estos regímenes determinan que en determinadas situaciones productivas se incorpore riego al cultivo (Moriani et al., 2003, Orgaz et al., 2017, Puppo et al., 2019).

El olivo tiene características anatómicas y morfológicas que le permiten adaptarse a ambientes de alta transpiración (déficit de presión de vapor). El haz de las hojas presenta una cutícula gruesa brillante, los estomas están dispuestos en el envés, protegidos por pelos aparasolados, que los protegen y disminuyen la apertura estomática (Rapoport y Moreno-Alías, 2017). Cuando el olivo se encuentra ante una situación de sequía, reacciona enrollando las hojas, abriendo las estomas sólo en la mañana y aumenta la presión osmótica con el fin de competir mejor por la escasa humedad

restante. Bajo situaciones de estrés hídrico el agua del fruto se traslada a las hojas, quedando los frutos arrugados (Guerrero, 2003).

En condiciones de cultivo sin limitantes hídricas, el potencial hídrico se sitúa alrededor de  $-1,5$  MPa al mediodía en verano; sin embargo, este puede reducirse en mayor proporción respecto a otros cultivos llegando a hasta  $-8$  MPa en condiciones de sequía extrema (Orgaz et al., 2017, Moriana et al., 2002). Al igual que sucede en la mayoría de las especies cuando se produce déficit hídrico, el olivo presenta una correlación positiva entre la conductancia estomática y el potencial hídrico de la hoja. Se reportan valores de conductancia del entorno de  $0,025$  mol/m<sup>2</sup>/s para un  $\psi$  hídrico  $-3,5$  MPa (Giorio et al., 1999). Moriana et al. (2002) señalan que la eficiencia de transpiración (mmol CO<sub>2</sub> fijados/mol H<sub>2</sub>O) no se ve afectada sino hasta que se alcanza un déficit hídrico severo ( $\psi$  hídrico  $<-4,0$  MPa)

La ecuación Penman – Monteith (Monteith, 1965) permite el cálculo del consumo de agua de un cultivo, considerando los siguientes factores, donde ET<sub>c</sub> corresponde a la *evapotranspiración potencial*, ET<sub>0</sub> a *evapotranspiración de referencia* y K<sub>c</sub> al *coeficiente del cultivo* ( $ET_c = ET_0 \times K_c$ ).

La ET<sub>0</sub> cuantifica la demanda evapotranspirativa de la atmósfera, la cual variará en función del clima y de la latitud. En K<sub>c</sub> varía en función de la cobertura del suelo (proporción de radiación solar interceptada) y del coeficiente de transpiración de la planta para cada etapa de desarrollo. Según Orgaz et al. (2017), para el caso del olivo variará en función de la edad del árbol, manejo de la canopia y marco de plantación.

Orgaz et al. (2017), describieron las demandas hídricas de dos plantaciones de olivos en Córdoba, España. Para un olivar tradicional con una densidad de plantación de 100 árboles/ha la ET<sub>c</sub> anual estimada fue de 698 mm. Mientras que la ET<sub>c</sub> para un olivar de alta densidad de 300 árboles/ha fue de 841 mm. Similares resultados fueron hallados por Moriana et al. (2003). En el Uruguay usando lisímetro Puppo et al. (2019), estiman el k<sub>c</sub> del cultivo y obtienen un valor de 0,7.

### 2.2.1.3 Suelo

Como para la mayoría de los frutales, la profundidad del suelo, principalmente la del o los horizontes explorables determinan la profundidad del desarrollo radicular del olivo. La profundidad de enraizamiento, está limitada por la presencia de horizontes texturales impermeables o la presencia muy superficial de napas freáticas. El desarrollo del sistema radicular determinará a su vez el desarrollo de la copa, el área foliar y por lo tanto la cobertura del suelo y el potencial de rendimiento por planta y por unidad de superficie (Agustí, 2010).

Si bien el olivo ha sido tradicionalmente cultivado en tierras marginales en términos edafo-climáticos, Palese et al. (2014), mencionan la disponibilidad hídrica en el suelo, como el factor más limitante en la producción.

Según Docampo y Silva (2013), el olivo requiere de un pH en agua en torno a la neutralidad, entre 6,5 y 7,5. Si bien se puede cultivar en suelos marginales, la productividad del cultivo se verá afectada, ya que no son condiciones para su desarrollo potencial.

## 2.2.2 Aptitud del Uruguay para el cultivo del olivo

El clima en Uruguay es de tipo subtropical, caracterizado por una gran variabilidad interanual (Giménez y Castaño, 2013, Vaughan et al., 2017, Barreiro et al., 2019, INUMET, s.f.). Predicciones realizadas por Cabré et al. (2016) sugieren que aumentará la variabilidad interanual de precipitaciones al igual que las temperaturas de otoño y primavera, mientras que las variaciones de temperatura de verano e invierno serán más estables a lo largo del siglo.

### 2.2.2.1 Temperatura

Según Giménez y Castaño (2013) la temperatura media nacional oscila entre 19,8°C en el norte del país y 16,6°C en el sur. Las temperaturas medias más elevadas ocurren en diciembre-enero (22,6°C) y las medias mínimas ocurren en junio-julio (12,9°C).

Según Severino et al. (2011) la oferta de frío invernal para el territorio nacional oscila entre 500 y 1000 HF, caracterizando los inviernos nacionales como suaves. La ocurrencia de heladas agrometeorológicas se da entre los meses de mayo y octubre. En promedio, el número de heladas en el norte y sur fluctúa entre 20 y 25, mientras que en el centro del país el promedio asciende a 35 días. Siendo julio el mes de mayor ocurrencia de las mismas (Giménez y Castaño, 2013).

#### 2.2.2.2 Precipitación

Un análisis detallado de la pluviometría nacional, realizado por Giménez y Castaño (2013), determina que el valor medio de precipitación a nivel nacional oscila entre 1200 y 1600mm anuales, ocurriendo los menores valores en la zona suroeste y los máximos en el noreste. La influencia marítima y la continental también influyen en el régimen pluviométrico marcando dos máximos en el año. El máximo principal se da en otoño y el segundo máximo se da en primavera. Sin embargo, no se considera que haya una estación seca ni una lluviosa, sino una gran variabilidad interanual. Por otra parte, los mayores valores de humedad relativa se sitúan en el sureste del país, con una media de 76-78%.

En las zonas oliveras del país, se registran mayores precipitaciones (mm) que lo que precisa el cultivo. Como consecuencia, es necesario tomar precauciones para evitar el exceso de agua en el perfil de suelo, para evitar asfixia radicular. Otra problemática asociada al exceso de lluvias repercute en términos sanitarios, sobre todo de enfermedades fúngicas. El autor también señala que el principal problema no es la cantidad de lluvia sino su distribución en el tiempo, alternando períodos de sequía y de abundantes lluvias. “Ello implica que no se pueda prescindir de los sistemas de riego ni de un buen drenaje en el suelo.” (Caballero, 2013).

#### 2.2.2.3 Déficit de presión de vapor

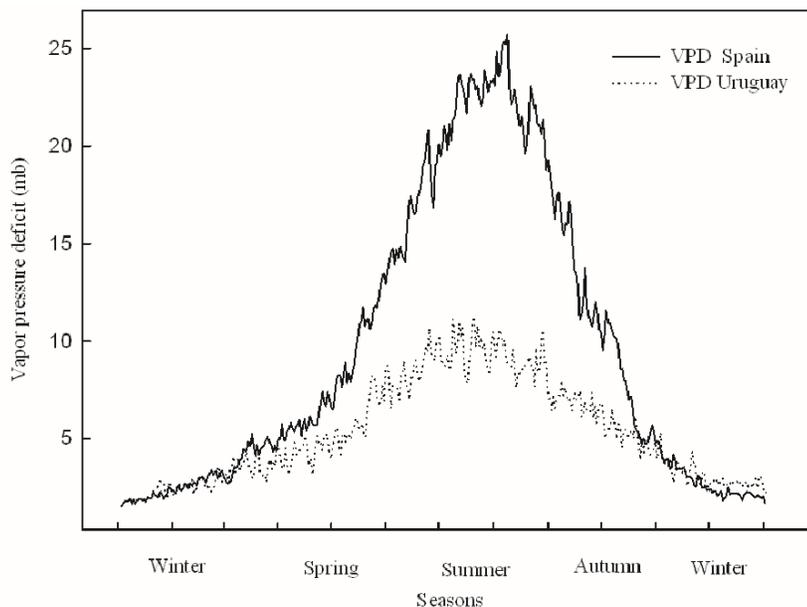
El déficit de presión de vapor (DPV) representa la diferencia entre la presión de vapor de saturación (100%HR) y la presión de vapor real. Por lo tanto, a mayor DPV, mayor será la demanda hídrica atmosférica hacia las plantas, lo que genera mayor transpiración. Por el contrario, menores valores de DPV, implican menores demandas

hídricas atmosféricas, por lo que la planta presentará menor evapotranspiración ante una misma apertura estomática (Pierantozzi et al., 2020).

Conde-Innamorato et al. (2022) compararon el DPV de una zona de producción de olivos tradicional (Córdoba, España) con el DPV del Uruguay (Fig. 1) y encontraron grandes diferencias entre ambos lugares. El DPV de España durante el verano, al menos duplicó los valores registrados para Uruguay. Los autores mencionan la alta correlación entre DPV y  $ET_0$  durante el verano, siendo también mayor para el caso de España que para Uruguay.

### Figura 1

*Distribución promedio anual de DPV (mb) en Uruguay y España (2009-2020).*



**Fuente:** tomado de Conde-Innamorato et al. (2022).

#### 2.2.2.4 Suelo

Según Durán y García Préchac (2007) a pesar de que Uruguay es un país de extensión reducida, climatología similar en todo su territorio y sin accidentes geográficos

importantes, existe variabilidad de suelos principalmente dada por los diferentes materiales generadores, la topografía local y el drenaje. Dejando de lado algunos casos excepcionales, el autor señala cinco rasgos característicos de la mayoría de los suelos presentes en el territorio.

- Color oscuro en casi todo el suelo, pardo muy oscuro, negro, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 2-3/1-2 valores Munsell)
- Asociado a la característica anterior, alto contenido de materia orgánica
- Alto contenido relativo de arcilla en el horizonte superficial, incluso en suelos superficiales
- Valores de pH ligeramente ácido, incluso aún en suelos con presencia de carbonatos libres o alcalinidad sódica. Este fenómeno evidencia que el régimen de precipitaciones predominantes en el Uruguay es en general suficiente para generar el lavado de las sales solubles de los horizontes superficiales hacia los horizontes profundos llegando incluso a eliminarlas.
- Presencia de horizonte B textural o argilúvico, definidos por la acumulación iluvial de arcilla silicatada.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, los suelos más típicos del país son Brunosoles. Caracterizados por presentar colores oscuros, elevados contenidos de materia orgánica y saturación en bases, texturas medias a pesadas, drenaje bueno o moderadamente bueno. Por lo general, presentan una secuencia de horizontes A-B-C, donde el horizonte B es por lo general argilúvico y el C puede presentar carbonato de calcio (Durán y García Préchac, 2007).

Desde 2003 el sector olivícola ha vivenciado una gran expansión en superficie, respondiendo a un desarrollo turístico, más que a la elección de sitios de mejor aptitud. En la actualidad, se pueden encontrar plantaciones de olivos en los diecinueve departamentos del país, por lo tanto, los suelos donde se ha implantado son heterogéneos. En Uruguay la mayoría de los suelos son aptos para la implantación de olivos, salvo por algunas excepciones que presentan limitantes como poca profundidad,

riesgo de anegamiento, texturas muy pesadas (Horizonte Bt superficial), pH ácido menor a 5. Y que el 80% de la superficie olivícola del país se ubica en el este del país, donde predominan suelos con poca profundidad y texturas gruesas en el horizonte superficial, resulta impensado implantar olivos sin la necesidad de realizar camellones. El objetivo de los mismos es favorecer el drenaje superficial y aumentar la exploración radicular (Docampo y Silva, 2013).

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE ARBEQUINA Y FRANTOIO

### 2.3.1 Arbequina

El cultivar es originario de la región noreste de España. Es un cultivar muy productivo y con baja tendencia a la alternancia productiva. Los frutos son pequeños (1,0-2,5g), de forma esférica, base truncada y el ápice redondeado (Barranco, 2017).

Se caracteriza por un porte relativamente pequeño, precoz, de buen comportamiento en plantaciones de alta densidad (Tous et al., 1997, Conde et al., 2019). Según MGAP. DIEA (2020), es el cultivar más plantado del país. Conde et al. (2019) la destacaron como el cultivar más eficiente entre las variedades de estudio. Los autores también mencionan que la variedad tiene un bajo requerimiento de frío, ya que su comportamiento en el norte y en el sur del país es similar.

En cuanto a su fenología, para la zona sur del país y dependiendo de las características intra-anales, el primer flujo de brotación se da desde mediados de agosto hasta principios de septiembre. La floración comienza desde principios de octubre, llegando a plena floración entre fines de octubre y principios de noviembre. El endurecimiento de carozo o hueso se da al final de diciembre y los primeros días de enero, mientras que el envero y maduración se extiende desde principios de marzo hasta mediados de junio (Fig. 2) (Ferronato y Riella, 2017, Conde et al., 2019).

Estudios realizados en Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Las Brujas, Uruguay (INIA LB), por Conde et al. (2019) durante ocho años con plantas regadas, obtuvieron un promedio de producción de 11,1 tn/ha/año. Sin embargo,

destacan un índice de alternancia productiva (ABI) de 0,59 y una eficiencia productiva de 2,1 kg/m<sup>3</sup>. La autoincompatibilidad genética de Arbequina (Sánchez-Estrada y Cuevas, 2018, Speroni et al., 2021, Riella et al., 2022) la hace dependiente de la nube polínica y por lo tanto su cuajado puede estar condicionado durante primaveras lluviosas; eventos que pueden agudizar su alternancia (Riella et al., 2022).

La variedad es susceptible a “repilo” (*Venturia oleaginea*) y “emplomado” (*Pseudocercospora cladosporioides*) y muy sensible a “aceituna jabonosa” (*Colletotrichum acutatum*) (Moral et al., 2015, Conde et al., 2019, Bernaschina et al., 2019).

Conde et al. (2019), elaboraron una escala de valoración para recomendar los cultivares de olivo presentes en el país. Dicho catálogo clasifica a Arbequina como: comportamiento agronómico: Muy alto; sanidad: Medio; aceite: Medio; valoración global: Alto.

### 2.3.2 Frantoio

El cultivar es originario de la región centro-norte de Italia. Es una variedad muy vigorosa que genera brindillas largas. El peso del fruto varía entre 1,5 y 3,0 g. Su aceite es muy valorado por sus características organolépticas y su estabilidad. (Barranco, 2017).

Es considerada una variedad sensible al frío (Barranco, 2017, Villamil y Conde, 2013). Sin embargo, Conde et al. (2019) encontraron altos requerimientos de frío para la variedad, evidenciados por problemas de adaptación a la zona en norte del país, donde la acumulación de frío es menor.

La bibliografía consultada en cuanto a su biología reproductiva es contrastante, Camposeo et al. (2012) afirman que es autoincompatible, mientras que Guerrero (2003) afirma que es autocompatible, pero puede incrementar el cuajado en polinización cruzada.

Según Ferronato y Riella (2017) y Conde et al. (2019) el primer flujo de brotación se da desde mediados de agosto hasta principios de septiembre. Su floración comprende

el período desde principios - mediados de octubre, llegando a plena floración entre fines de octubre y principios de noviembre. El endurecimiento de carozo o hueso ocurre al final de diciembre y los primeros días de enero, mientras que el envero y maduración se extiende desde principios de marzo hasta fines de junio (Fig. 2).

Conde et al. (2019) la describieron con una eficiencia productiva de 1,08 kg/m<sup>3</sup> y lenta entrada en producción (5 años). Obteniendo en INIA LB un rendimiento promedio en los ocho años de experimento 10,1 tn/ha/año, pero con un índice de alternancia (ABI) de 0,6.

Barranco (2017) la describieron como una variedad resistente a “repilo” (*Spilocaea oleagina*). Estudios realizados por Moral et al., 2015, en Córdoba, España, la consideraron susceptible a “emplomado” (*Pseudocercospora cladosporioides*) y resistente a “aceituna jabonosa” (*Colletorichum spp.*).

Conde et al. (2019) la clasificaron como: Comportamiento agronómico: alto; sanidad: muy alto; aceite producido: muy alto; valoración global: muy alto.

## Figura 2

*Desarrollo de las principales etapas fenológicas de los cultivares Arbequina y Frantoio.*



**Fuente:** elaborado con base en Ferronato y Riella (2017).

## 2.4 SISTEMAS DE PRODUCCION y PROBLEMÁTICAS PRODUCTIVAS EN EL URUGUAY

A partir del año 2003 el sector olivícola ha vivenciado un gran desarrollo incorporando modelos de producción modernos. Los sistemas de producción actuales

se caracterizan por utilizar densidades entre 285 y 400 plantas por hectárea. Solo el 13% de la superficie esta regada (MGAP. DIEA, 2020). Estos sistemas de producción se corresponden a los sistemas S5 (secano) y S6 (riego) descriptos por Rallo et al. (2013).

El objetivo comercial de las plantaciones es la extracción de aceite. La producción de aceitunas de mesa es muy marginal, ocupando un 0,2% de la zafra 2020-2021. Las variedades más implantadas hoy en día en Uruguay son Arbequina, Coratina, Picual y Frantoio. El 70% de las explotaciones tiene 20 ha o menos de superficie efectiva, abarcando sólo un 14% de la superficie implantada. Mientras que el 14% de las explotaciones (22 explotaciones de superficie mayor o igual a 50 ha) acaparan el 75% de la superficie implantada del país, aportando un 86% de la producción para la zafra 2019-2020. El 57% de las explotaciones afirmó no haber tenido cosecha en la zafra 2019-2020 debido a la alternancia productiva y otros factores asociados como: sanidad, manejo, polinización, falta de horas de frío, exceso o déficit hídrico (MGAP. DIEA, 2020).

La falta de frío invernal puede afectar negativamente la intensidad de floración de la primavera siguiente, ya sea para el proceso de inducción floral o para la brotación de las yemas (Rallo y Cuevas, 2017, Haberman et al., 2017). Además, inviernos cálidos producen un período de floración extenso y consecuentemente mayor abscisión de los órganos jóvenes con menor fuerza fosa (Rallo y Cuevas, 2017). Existe evidencia a nivel nacional que el comportamiento productivo del cultivar Frantoio es significativamente menor en el norte del país que en el sur, donde la oferta de frío invernal es menor. Se señala esta limitante como una explicación de los menores rendimientos. La alta variabilidad del régimen térmico tanto inter como intra anual constituye una de las principales dificultades en el manejo del cultivo del olivo (Conde-Innamorato et al., 2019).

Una vez definida la floración, el siguiente proceso determinante del potencial de rendimiento, es el cuajado. Como en la mayoría de las especies frutales alternantes, los cultivares de olivo no presentan problemas en el cuajado, siempre y cuando exista polen genéticamente compatible en el aire, simultáneo a la antesis del cultivar receptor. Dada la autoincompatibilidad genética de los cultivares (Camposeo et al., 2012, Sánchez-Estrada y Cuevas, 2018, Speroni et al., 2021, Riella et al., 2022) los diseños de plantación deben incluir variedades polinizantes. Según Lavee, citado por Villamil (2013),

se requiere aproximadamente un 10% de plantas polinizadoras en la plantación. Recientes estudios nacionales compararon la viabilidad del polen y la receptividad estigmática de “Arbequina”, “Picual” y “Coratina” bajo condiciones locales, con las reportadas bajo condiciones tradicionales. Los resultados evidencian que, la biología reproductiva de los cultivares utilizados y el período efectivo de polinización, no serían limitantes del cuajado (Speroni et al., 2021, Riella et al., 2022). En tal sentido, Arias y Severino (2013) suscriben que debe ser tenido en cuenta el entorno agroclimático descrito anteriormente al momento de diseñar la implantación, la selección de cultivares y la utilización de polinizadores. La polinización anemófila del olivo es directamente dependiente de las lluvias y la humedad relativa (Aguilera y Ruiz, 2012, Vázquez et al., 2003).

Otro aspecto problemático a tener en cuenta en las producciones intensivas es la sanidad del cultivo, especialmente bajo condiciones de alta humedad relativa. Conde-Innamorato et al. (2019) y Conde et al. (2013), destacan a *Colletotrichum spp.* patógeno causal de antracnosis o “jabonosa” como principal enfermedad en cosecha y la floración en condiciones locales.

Si bien Conde-Innamorato et al. (2019) afirman que es posible la producción de aceite de oliva en el Uruguay, con rendimientos promedios de 8 t/ha bajo riego, señalan que la alternancia productiva es la principal problemática en nuestras condiciones. En base a un estudio de 10 años registran producciones entre 0 y 25 t/ha por año, con índices de alternancia (ABI) de hasta 0,6. Específicamente para Arbequina se cita un índice de 0,59 y para Frantoio de 0,6. Además de los factores ambientales adversos que determinan un año OFF en la olivicultura y acentúan la alternancia, debe estudiarse también lo que sucede con el balance entre el desarrollo reproductivo y vegetativo que ocurre cada año en condiciones de riego y con alta disponibilidad de polinizadores. Dicha es la situación de la investigación nacional que nos muestra altos potenciales de rendimiento junto a los altos índices de alternancia. La capacidad de desarrollar brindillas en forma anual es determinante del potencial de rendimiento del siguiente año (Rapoport y Moreno-Alías, 2017), por lo que debe ser foco de estudio para elaborar estrategias adecuadas de regularización de la producción.

## 2.5 RESPUESTA DEL OLIVO AL RIEGO

El olivo tiene una alta tendencia natural a expresar la alternancia y este proceso puede agudizarse en condiciones adversas en regiones no tradicionales de su cultivo. (Lavee, 2007). Existen diversas medidas de manejo en los cultivos frutales para regularizar la producción como: la poda, la aplicación de fitorreguladores, el raleo de frutos y el riego. Estas medidas deben ser aplicadas en condiciones específicas en función de un potencial de rendimiento esperado y en base a la historia productiva de cada monte (Goldshmidt y Sadka, 2021).

Se han identificado dos períodos de particular susceptibilidad al déficit hídrico en el ciclo anual productivo del olivo. El primero es desde floración hasta fin de caída fisiológica de frutos, el déficit hídrico genera una reducción en el número final de frutos. Un segundo período crítico es desde final de verano hasta cosecha, cuando la mayor cantidad de aceite es acumulado, el déficit hídrico durante este período puede generar reducción de la fotosíntesis y por lo tanto en la síntesis de aceite y el peso fresco del fruto (Tognetti et al., 2006, Marra et al., 2016, Orgaz et al., 2017, Hueso et al., 2019).

La siguiente tabla (Tabla 2) resume las principales respuestas esperadas del olivo ante un déficit hídrico dependiendo del momento y etapa fenológica que se aplique. Los autores destacan como períodos críticos la prefloración, la floración y la maduración del fruto (Orgaz et al., 2017).

**Tabla 2**

*Efecto del déficit hídrico en los procesos de crecimiento y producción de aceite para olivos de acuerdo al momento del déficit (HS).*

| <b>Proceso</b>                         | <b>Período</b>   | <b>Efecto del déficit hídrico</b>                                     |
|--|------------------|---|
| <b>Crecimiento vegetativo</b>          | Todo el año      | Reducción del crecimiento y del número de flores al año siguiente     |
| <b>Desarrollo de yemas florales</b>    | Ago.- Oct.       | Reducción del número de flores. Aborto pistilar                       |
| <b>Floración</b>                       | Noviembre        | Reduce fecundación  |
| <b>Cuajado de frutos</b>               | Nov.-Dic.        | Aumenta la alternancia  |
| <b>Crecimiento inicial del fruto</b>   | Dic.-Ene.        | Disminuye el tamaño del fruto (menor número de células/fruto)         |
| <b>Crecimiento posterior del fruto</b> | Feb.-<br>Cosecha | Disminuye el tamaño del fruto (menor tamaño de las células del fruto) |
| <b>Acumulación de aceite</b>           | Ene.-May.        | Disminuye el contenido de aceite/fruto                                |

**Fuente:** adaptado de Beede y Goldhamer, citados por Orgaz et al. (2017).

Durante el desarrollo del fruto se han identificado tres etapas donde el déficit hídrico puede afectar negativamente. El desarrollo del fruto sigue un crecimiento de tipo doble sigmoide, como el resto de las drupas. La primera etapa de desarrollo (Fase I) comienza luego de ocurrida la fecundación de la flor y finaliza cuando se da la caída fisiológica de frutos y comienza el endurecimiento de carozo. Esta etapa está caracterizada por la rápida división celular. La segunda etapa (Fase II) se enfoca en el desarrollo del endocarpo (Hueso del fruto) completando el desarrollo del mismo, la tasa de crecimiento disminuye en términos generales. Durante la tercera etapa de crecimiento (Fase III), la tasa de crecimiento vuelve a ser importante, en esta oportunidad debido al ensanchamiento y llenado de las células del mesocarpo debido a la biosíntesis de aceite (lipogénesis). Sobre el final de esta etapa ocurre el cambio de color del exocarpo (envero del fruto) debido principalmente a la disminución de clorofilas y aumento de pigmentos

antocianos, tornándose desde verde a negra-morada. (Rapoport y Moreno-Alías, 2017, Rallo y Cuevas, 2017).

Si bien la mayoría de la información disponible sobre riego en verano aborda los efectos sobre el crecimiento de fruto, lipogénesis y la calidad del aceite, algunos trabajos también evalúan el efecto sobre el crecimiento de las brindillas del año. En la siguiente tabla se resumen los aspectos metodológicos y resultados significativos de los artículos científicos que evalúan algún parámetro vegetativo con tratamientos de riego en verano. Se hace referencia al efecto que generó el déficit hídrico. (Tabla 3).

Los parámetros vegetativos evaluados en los diferentes trabajos son, el largo de las brindillas, el número de nudos y área transversal de tronco (Tabla 3). Los trabajos de Hueso et al. (2019) y de Marra et al. (2016) no obtuvieron diferencias en el crecimiento vegetativo en los diferentes tratamientos de riego alcanzando valores de potencial hídrico de hasta -6,2 MPa. Los autores señalan que, al no disminuirse el crecimiento por estrés hídrico en las condiciones evaluadas, no se afecta la producción del año siguiente (Hueso et al., 2019). Mientras que Iniesta et al. (2009), Gómez-del-Campo et al. (2008) y Moriana et al. (2012) registran una disminución del crecimiento vegetativo en condiciones de déficit hídrico con potenciales hídricos muy variados, entre -0,5 MPa y -8 MPa según los diferentes tratamientos y localidades.

**Tabla 3**

*Resumen de trabajos realizando déficit hídrico desde fase II de crecimiento de fruto hasta cosecha*

| <b>Autor</b>  | <b><math>\psi</math> hídrico</b> | <b>Crec. Veg</b>   | <b>Peso Fruto</b>              | <b>Ef. Productiva</b>                        | <b>Brindilla base</b> |
|---|----------------------------------|--|--------------------------------|--|-----------------------|
| Hueso <i>et al.</i> ,<br>2019 c.v<br>"Arbequina"                                      | -0,75 MPa<br>-6,26 MPa           | SD (7 a<br>18cm LB)  | Disminuyó<br>(g/fruto)         | Disminuyó (kg<br>frutos/m <sup>3</sup> copa) | Sin<br>descripción    |
| Marra <i>et al.</i> ,<br>2016 c.v<br>"Arbequina"                                      | -2,5 MPa<br>-6,5 MPa             | SD ATT<br>(cm <sup>2</sup> )   | Disminuyó<br>(g/fruto)         | Disminuyó<br>(kg/cm <sup>2</sup> ATT)        | Sin<br>descripción    |
| Iniesta <i>et al.</i> ,<br>2009 c.v<br>"Arbequina"                                    | -0,5 MPa<br>-3,6 MPa             | Disminuyó<br>120 mmLB<br>47 mmLB   | SD<br>(gMS/fruto)              | SD (Nºfruto/m <sup>2</sup><br>Á.Foliar)      | Sin<br>descripción    |
| Gómez-del-<br>Campo <i>et al.</i> ,<br>2008 cv<br>"Cornicabra"                        | -1,1 MPa<br>-3,3 MPa             | Disminuyó<br>190 mmLB<br>80mmLB  | S.I                            | S.I  | 30mmLB<br>55mmLB      |
| Moriana <i>et al.</i> ,<br>2012 cv<br>"Cornicabra" y<br>"Morisca"                     | -1,5 MPa<br>-8,0 MPa             | Disminuyó<br>LB (20,5cm<br>y 7,1cm)<br>Disminuyó<br>NN/B (14,3<br>y 6,5) | Disminuyó<br>(g/fruto<br>seco) | S.I  | Sin<br>descripción    |
| Conde-<br>Innmaorato <i>et</i><br><i>al.</i> , 2022 cv<br>"Arbequina" y<br>"Frantoio" | -0,8 MPa<br>-3,5 MPa             | SI   | Disminuyó<br>(g/fruto)         | SD (kg fruta/m <sup>3</sup><br>agua)         | Sin<br>descripción    |

Referencias: (LB): Largo de brindillas; (ATT): Área transversal del tronco; (NN):

Número de nudos; (S.D): Sin diferencias; (S.I): Sin información.

Según Giorio *et al.* (1999) el potencial hídrico y la conductancia estomática están principalmente determinados por el contenido de agua en el suelo y en menor

medida por el DPV, ya que para el olivo no se encuentra correlación directa entre DPV y la conductancia estomática sino hasta que el DPV supera valores de 40 mb (Fernández et al., 1997). Marino et al. (2018) afirman que bajo un estrés hídrico moderado (-2MPa a -3,5MPa) la conductancia estomática varía en función del potencial hídrico, sin comprometer la actividad fotosintética. A partir de valores inferiores (<-3,5MPa – estrés hídrico severo) la actividad fotosintética y la eficiencia en el uso del agua, sí se ven afectadas, lo cual representa una disminución en el intercambio gaseoso y en la productividad. Hueso et al. (2019) y Marra et al. (2016) señalan que, aplicando riego deficitario continuo a partir de endurecimiento de carozo (verano) hasta cosecha, generando un  $\Psi$  hídrico entre -1,5 y -3,5 MPa se logran los mayores índices de productividad (kg fruta/m<sup>3</sup> y kg fruta/cm<sup>2</sup> del perímetro del tronco); llegando incluso a producir un estrés moderado para la planta. Hueso et al. (2019) también señalan como límite de eficiencia productiva -2,2MPa y eficiencia hídrica en -2,3MPa, sin comprometer la producción al año siguiente.

Por otra parte, los trabajos de Martín-Vertedor et al. (2011), Aïachi Mezghani et al. (2012) y Trentacoste et al. (2019) que realizan déficit hídrico durante toda la temporada de crecimiento, concluyen que el principal factor limitante del crecimiento vegetativo es la carga de fruta y no los tratamientos de riego. Marra et al. (2016) concluye que la carga de fruta enmascara los efectos del riego sobre el crecimiento de las brindillas (cm). Estos resultados evidencian la necesidad de evaluar la carga de fruta sobre el crecimiento vegetativo en conjunto a los diferentes tratamientos de riego. La brotación vegetativa se inicia temprano en la primavera en forma paralela a la floración con un crecimiento inicial rápido que se ralentiza en el verano (Rapoport y Moreno-Alías 2017). En todas estas etapas, el fruto es una fosa priorizada, por lo que se genera una competencia nutricional que deja en desventaja a la brotación vegetativa. De esta manera, una alta cosecha está asociada a una baja brotación vegetativa, por lo que se encuentra limitada la cantidad de nudos (yemas) potencialmente reproductivos para la siguiente primavera. (Dag et al., 2010, Lavee, 2015). El estado hídrico de las pantas (Ben-Gal et al., 2011) así como el estado nutricional (Turktas et al., 2013) mediante los mecanismos mencionados afectan la expresión de la alternancia en el olivo.

### 2.5.1 Investigación nacional de riego en olivo

Las investigaciones locales enfocadas en el comportamiento de los olivos frente a diferentes niveles de suministro hídrico son muy escasas, pero recientes. En los últimos 15 años se han comenzado a desarrollar líneas de investigación en este sentido, lideradas por INIA y Facultad de Agronomía (UDELAR).

Recientes investigaciones realizadas por Puppo et al. (2019) determinaron la demanda hídrica del cultivo joven para las condiciones locales. Para ello utilizaron datos de precipitación y de evapotranspiración de referencia diaria ( $ET_0$ ) de todas las estaciones INIA del país (La Estanzuela, Las Brujas, Salto Grande, Treinta y Tres y Tacuarembó). Para conocer la  $ET_c$  del cultivo, conjugaron los datos de  $ET_0$  con los datos de coeficiente de cultivo ( $K_c=0,7$ ) proporcionados por FAO-56 citados por Allen et al. (2011), para montes con 40-60% de suelo cubierto por la canopia del cultivo. Entre los resultados arrojados de la investigación, con un 80% de seguridad, todos los años se debería regar entre 452 y 587mm para las zonas de Treinta y Tres y Salto Grande respectivamente. También determinaron que, el momento de mayor  $ET_c$  para todas las estaciones experimentales fue durante enero variando entre 3,6 y 4,3mm/día para Treinta y Tres y Salto Grande respectivamente.

Puppo et al. (2019), determinaron el caudal necesario por hectárea a regar con un 80% de seguridad sobre los requerimientos. Serán necesarios 2250 y 2700 L/hora por hectárea para Treinta y Tres y Salto Grande respectivamente. Los datos fueron calculados estimando un aprovechamiento de 80% del agua regada y jornadas de riego de 20 horas por día.

Conde-Innamorato et al. (2022) realizaron ensayos de riego, desde fase II hasta cosecha, en árboles adultos de Arbequina y Frantoio, en la estación INIA LB. Evaluaron la eficiencia productiva (kg fruta/m<sup>3</sup> agua aplicada), tamaño de fruta y cantidad y calidad de aceite. Las eficiencias productivas en el tratamiento 50%  $ET_c$  cubierta por riego fueron mayores en comparación con 100%  $ET_c$  cubierta por riego. Los autores señalan que las diferencias en tamaño de fruta para el cultivar Arbequina son menos notorias debido al menor tamaño de los frutos producidos.

Los olivos, más allá de ser uno de los frutales con mayor superficie implantada en el país en la actualidad, la investigación nacional en materia de riego en olivos es muy incipiente, especialmente en cuanto a su crecimiento vegetativo. Esto constituye una falta de información acerca del comportamiento productivo del olivo en sitios no tradicionales con climas templados.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 SITIO EXPERIMENTAL Y MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

El experimento fue llevado a cabo en la estación experimental INIA “Las Brujas” ubicada en el sur de Uruguay (34°40` S; 56°20` W; altitud 32 m sobre nivel del mar). El tipo de suelo predominante presenta, un horizonte A de 20 cm de profundidad, el pH es 6,5 y 2,5% materia orgánica. Se puede clasificar como argisol siguiendo los parámetros propuestos por Durán y García Préchac (2007).

Para el experimento se utilizaron 12 plantas del cultivar Arbequina y 12 plantas del cultivar Frantoio, implantadas en 2006. El marco de plantación utilizado fue de 6 m entre fila \* 4 m entre plantas (Fig. 3). La orientación de las filas fue norte-sur. Las plantas estuvieron manejadas con un sistema de conducción con un tronco libre hasta 1 m de altura y un vaso abierto con tres o cuatro líderes. Previo al experimento todas las plantas tuvieron el mismo manejo nutricional, riego (100% de ETc cubierta) y poda. El sistema de riego fue por cinta de goteos con un caudal de 4 l/h. El manejo sanitario del cultivo fue de acuerdo a la guía de Control Integrado de Plagas propuesto por Malavolta et al. (2002).

### Figura 3

*Foto de los dos cultivares de estudio en INIA LB.*



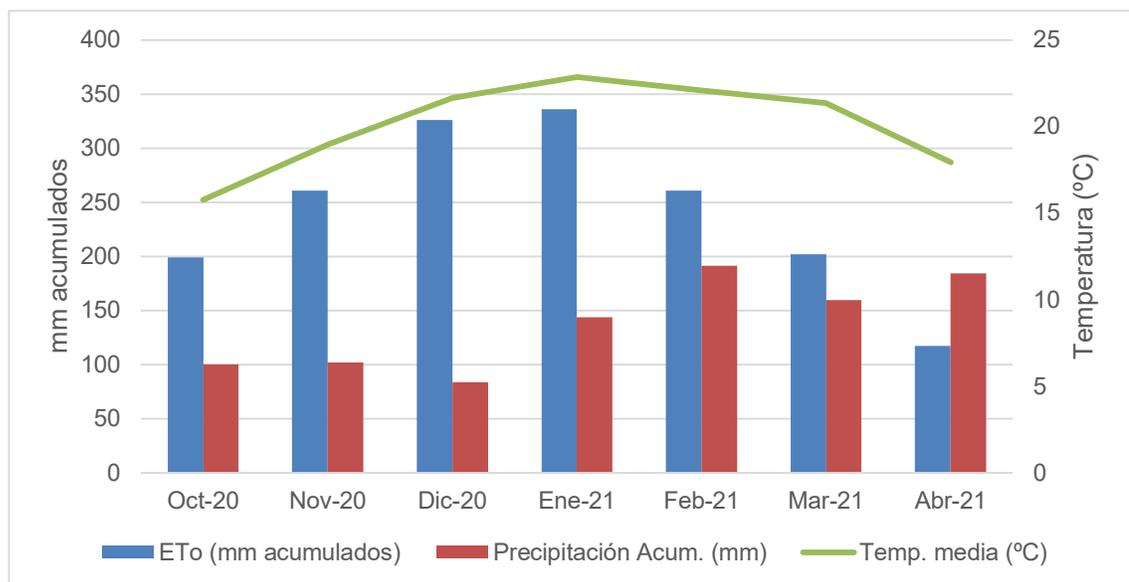
Referencias: Fila de la izquierda corresponde al cultivar Frantoio. Fila de la derecha corresponde al cultivar Arbequina.

### 3.2 CLIMA

Los datos climáticos correspondientes al período de estudio fueron proporcionados por el banco de datos INIA GRASS generando la búsqueda de los parámetros climáticos evaluados para la estación “Las Brujas” (INIA, s.f.). En la siguiente figura (Fig. 4) se observa la evolución de  $ET_0$  según “Penman-Monteith” (Allen et al., 2011), las precipitaciones acumuladas mensualmente y la temperatura media mensual. La humedad relativa media durante la temporada de crecimiento (octubre-2020 hasta abril-2021) registró su mínimo registro durante diciembre (65,5%HR) y su máximo en el

**Figura 4**

*Evaporación “Penman” (mm), precipitación acumulada (mm) y temperatura media (°C) desde 1/10/2020 hasta 30/04/2021.*



mes de abril (79%HR).

**Fuente:** elaborado con base en INIA (s.f.).

### 3.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El experimento fue realizado con dos cultivares de olivos, Arbequina y Frantoio. Para cada cultivar, se realizó un diseño completamente aleatorizado, con 3 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos consistieron en modificar el suministro hídrico hacia las plantas desde endurecimiento de carozo hasta cosecha (desde 26 de diciembre de 2020, hasta 21 de abril de 2021). La superficie de la parcela del experimento fue cubierta durante todo el período con nylon para evitar el aporte de agua al suelo por lluvia. Los tratamientos de riego fueron T0: 0% de la ETc (sin riego), T50: 50% de la ETc y T100: 100% de la ETc. En cada planta se seleccionaron ocho ramas, cuatro con alta carga de flores y cuatro con baja carga de flores. Por lo tanto, la nomenclatura a nivel de rama será: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) (Fig.5).

#### Figura 5

*Foto de brindillas seleccionadas*



Referencias: Foto izquierda: Rama 1A (Alta floración); foto derecha: Rama 2B (Baja floración).

### 3.4 MEDICIONES

#### 3.4.1 Parámetros hídricos

Se midió potencial hídrico xilemático al medio día utilizando una bomba de Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA) siguiendo las

instrucciones de uso descritas por Scholander et al. (1965). Las mediciones se realizaron cada veinte días desde mediados de diciembre hasta comienzos de abril, entre las 12:00 y 14:00 horas, en hojas maduras expuestas al sol.

Con el objetivo de complementar las medidas de potencial hídrico se realizaron medidas de conductancia estomática utilizando un porómetro portátil (SC-1 de METER Group). Se realizaron tres mediciones en la temporada (18/1/2021, 4/2/2021 y 23/3/2021) a la hora de mediodía.

#### 3.4.2 Descripción de la brindilla

Una vez establecidas las ramas a utilizar, se contabilizaron los nudos provenientes del crecimiento del año anterior (número de nudos base - NNB) al inicio del experimento y cada veinte días se contaron los nudos nuevos generados (NNN) durante el ciclo de crecimiento hasta la cosecha. Se midió, el diámetro de las ramas seleccionadas (CALIBRE<sub>i</sub> y CALIBRE<sub>f</sub>- mm) y el volumen de la copa (m<sup>3</sup>), al inicio del experimento y una vez finalizado el mismo.

Durante la antesis, se contabilizaron la cantidad de panículas presentes en ramas seleccionadas y las flores de las tres panículas centrales de la brindilla. A partir de diciembre y cada 20 días se contaron los frutos presentes en cada brindilla. Generando entonces, Flores/100N (Cantidad de flores cada cien nudos base); Flores/pan (Cantidad de flores por rama/ cantidad de panículas en la rama); Frutos/100N (Cantidad de frutos cada cien nudos base); Frutos/pan (Cantidad de frutos por rama/ cantidad de panículas en la rama); Cuaj (Frutos cuajados por rama\*100/ flores iniciales por rama).

Una vez alcanzado el índice de madurez deseado se procedió a la cosecha de la fruta utilizando tractor con vibrador y peines eléctricos. Se colectó toda la fruta del árbol obteniendo el rendimiento medido como kg/planta.

#### 3.4.3 Variables objetivo

A partir de las mediciones de campo se generaron nuevas variables, las cuales serán utilizadas para analizar el experimento. Con el fin de mitigar la diferencia entre las

ramas seleccionadas se relativizaron las variables en base cien nudos base. Las variables se calcularon de la siguiente forma:  $NNN/100N$  (Número de nudos nuevos cada cien nudos base);  $NNN/pan$  (Número de nudos nuevos por rama/ cantidad de panículas por rama);  $\%Crecimiento$   $((CALIBRE_f - CALIBRE_i)/CALIBRE_i * 100)$ .

### 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento tuvo un diseño de distribución completamente al azar (DCA) y fue analizado mediante el software Infostat. Para las variables con distribución normal se realizó análisis de la varianza (ANOVA), mientras que para las variables no normales ( $NNN/100N$  y  $NNN/pan$ ), se realizaron estudios no paramétricos (Kruskal-Wallis). Ambos análisis se realizaron con  $\alpha=0,05$ .

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ARBEQUINA

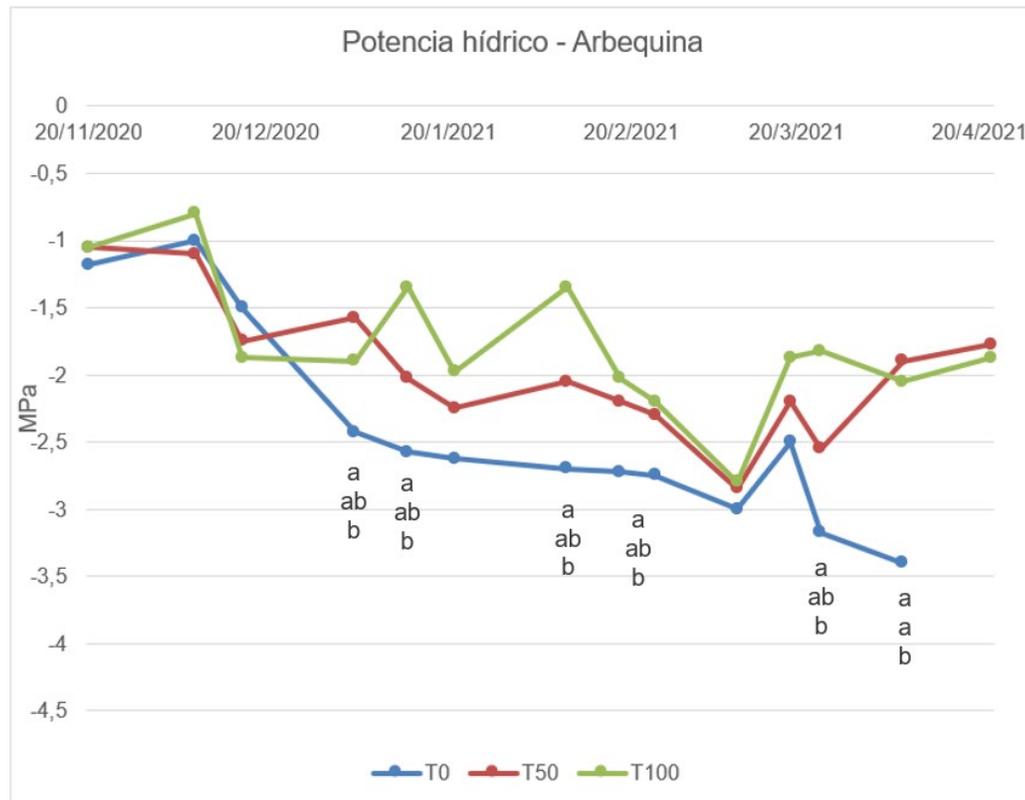
#### 4.1.1 Parámetros hídricos

##### 4.1.1.1 Potencial hídrico:

Las plantas T0 presentaron valores de potencial hídrico xilemático (MPa) significativamente menores, en relación a las plantas T100 (Fig. 6) para la mayoría de las fechas de muestreo. Las plantas del tratamiento T0 presentaron valores de entre -1,0 y -3,4 MPa, mientras que las plantas bajo tratamiento T100 presentaron valores entre -0,8 y -2,8 MPa. Por otra parte, las plantas en tratamiento T50, tuvieron un comportamiento intermedio entre los tratamientos T0 y T100, registrando valores entre -1,05 y -2,85 MPa.

**Figura 6**

*Evolución del potencial hídrico de la hoja (MPa) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Arbequina.*



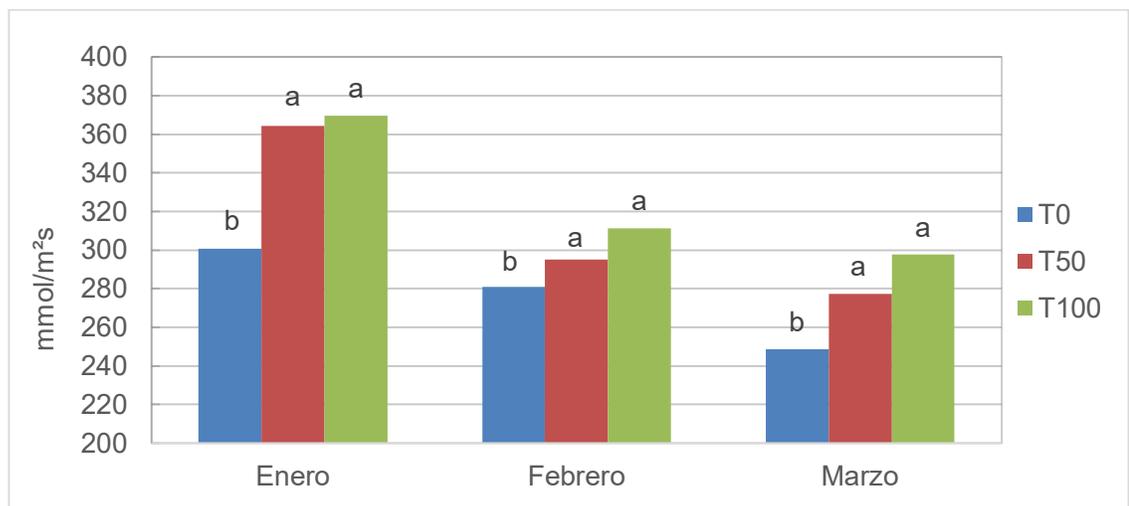
*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

#### 4.1.1.2 Conductancia estomática

En cuanto a la conductancia estomática, los tratamientos T0 presentaron valores significativamente menores de esta variable que los T50 y T100 para las tres mediciones realizadas (Fig. 7).

**Figura 7**

*Conductancia estomática (mmol/m<sup>2</sup>s) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Arbequina.*



*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos (p-valor<0,05).

#### 4.1.2 Descripción de la brindilla

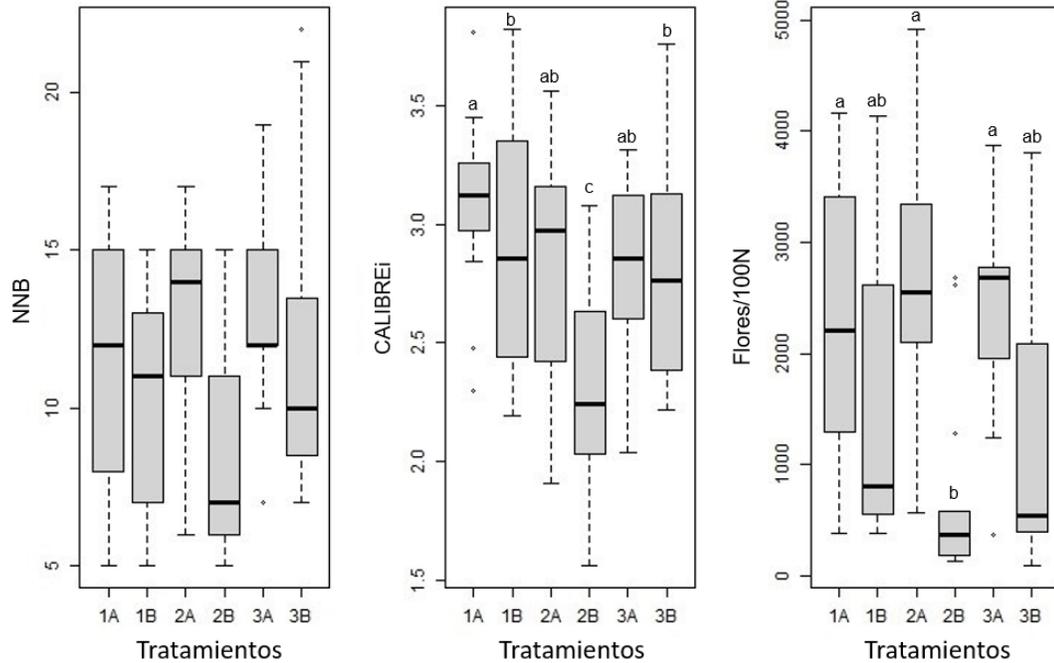
A partir del gráfico de cajas (Fig. 8) se pueden describir algunas de las variables de interés de las brindillas al momento de seleccionarlás. Las brindillas de alta carga de frutos tienen las mayores medianas para las variables: NNB, CALIBREi y Flores/100N. Sin embargo, sólo se observan diferencias significativas para las variables CALIBREi (p-valor: 0,0035) y Flores/100N (p-valor: 0,00020).

Para la variable CALIBREi las brindillas con mayor calibre promedio fueron las del tratamiento 1A, las cuales se diferenciaron significativamente (p-valor<0,05) de todos los tratamientos de baja carga de frutos.

Para la variable Flores/100N, los tratamientos 1A, 2A y 3A lograron diferenciarse estadísticamente solo de 2B.

**Figura 8**

Gráfico de cajas para las variables: NNB, CALIBREi, Flores/100N (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Arbequina.

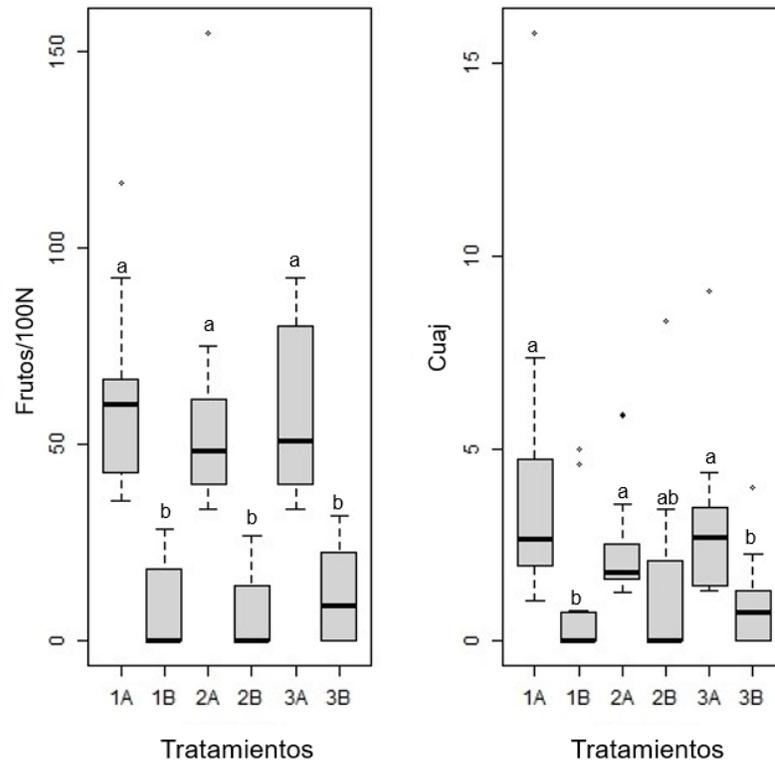


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Para la variable Frutos/100N todos los tratamientos de alta carga de frutos presentaron diferencias estadísticas frente a los de baja carga de frutos (Fig. 9). En cuanto al cuajado, medido como % cuajado (Frutos\*100/Flores), los tratamientos de alta carga de frutos (1A, 2A y 3A) presentaron mayores valores de cuajado estadísticamente diferentes de los tratamientos 1B y 3B.

**Figura 9**

Gráfico de cajas para las variables: Frutos/100N y Cuaj. (%Cuajado) para el cultivar Arbequina (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga).

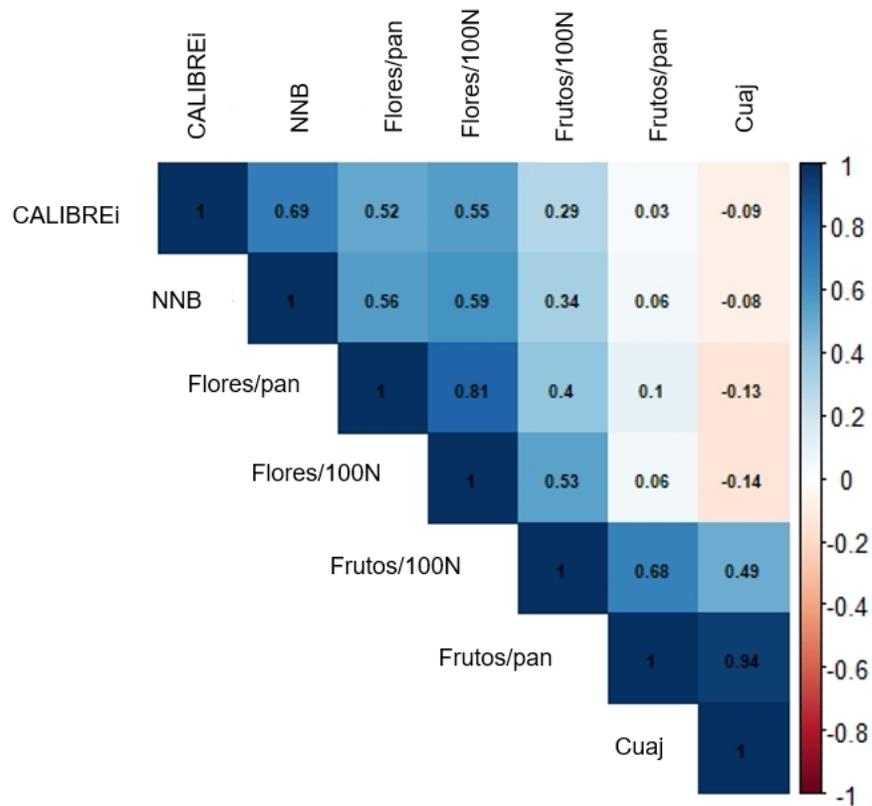


*Nota.* Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor < 0,05).

Para entender su comportamiento y profundizar más en la descripción de las brindillas de estudio, se realizó un análisis de correlaciones entre las variables (Fig. 10): CALIBRE<sub>i</sub>, NNB, Flores/pan, Flores/100N, Frutos/100N, Frutos/pan y Cuaj. Se obtuvieron altas correlaciones positivas entre las variables: CALIBRE<sub>i</sub> x NNB; NNB x Flores/pan y NNB x Flores/100N; CALIBRE<sub>i</sub> x Flores/pan; CALIBRE<sub>i</sub> x Flores/100N; Flores/pan x Flores/100N y Flores/100N x Frutos/100N. Solamente se encuentra una correlación negativa entre las variables: Flores/100N x Cuaj, con un valor de 0,14.

**Figura 10**

*Correlación de variables de estudio de Arbequina.*



#### 4.1.3 Variables objetivo

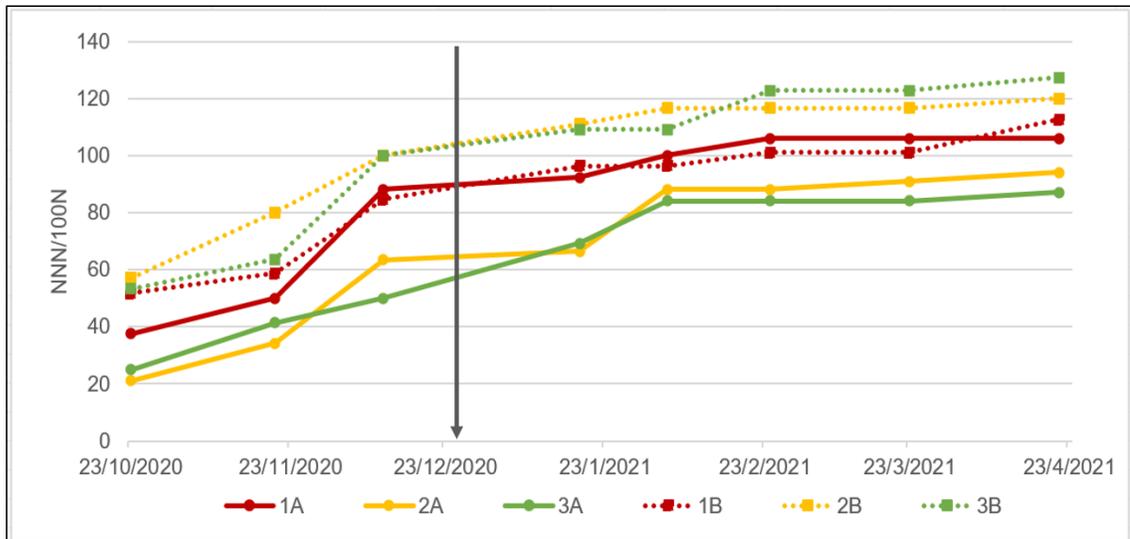
Para el análisis del crecimiento vegetativo se graficó la evolución de las variables: NNN/100NB (Fig. 11) y NNN/pan (Fig. 12) en todo el período estudiado. Debe señalarse que los tratamientos se instalan el 26/12/2020 por lo cual sólo a partir de las fechas de muestreo del 18/1/2021, corresponde analizar la respuesta a los tratamientos. Sin embargo, dada la dependencia del crecimiento previo en cada fecha de muestreo el análisis de comparación de medias con la estrategia estadística de “medidas repetidas en el tiempo” se aplica a todas las fechas de muestreo.

En la evolución de NNN/100N (Fig. 11) se observa que las ramas de baja carga de fruta se ubican en los estratos superiores de esta variable. Por el contrario, las ramas con alta carga de frutos presentan menores NNN/100N en todas las fechas de muestreo. Si bien, esta jerarquización de tratamientos en términos generales, se mantiene a lo largo del período de estudio, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las fechas de muestreo ( $p$ -valor $<0,05$ ). El mayor crecimiento vegetativo se observó en las brindillas con baja carga de frutos con 50%ETc y 100%ETc.

Al final del período, se alcanzó un máximo de 127 NNN/100NB correspondiente al tratamiento 2B, mientras que el tratamiento 3A llegó a un máximo de 87 NNN/100NB.

**Figura 11**

*Evolución en el tiempo del NNN/100N para los seis tratamientos (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Arbequina. La flecha indica el inicio de los tratamientos.*



*Nota.* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticas dentro de cada fecha ( $p$ -valor $<0,05$ ).

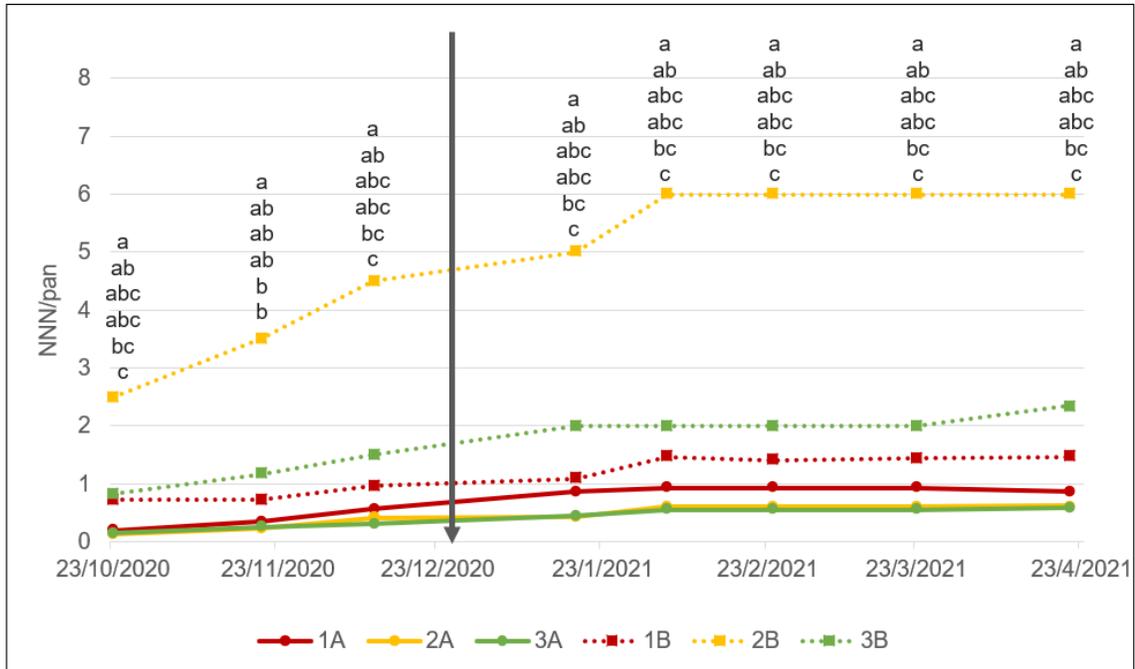
Con un 95% de confianza es posible afirmar que para la fecha 11/12/2020 (previo a la aplicación de los tratamientos) un 75% de los nudos totales generados en la temporada, ya se habían desarrollado.

Se observa en la evolución de NNN/pan, (Fig. 12) un comportamiento similar a la tendencia descrita a la variable NNN/100N. Las ramas de baja carga de fruta se ubican en los estratos superiores de esta variable. Por el contrario, las ramas con alta carga de frutos presentan menores NNN/pan en todas las fechas de muestreo. Esta jerarquización de tratamientos en términos generales se mantiene a lo largo del período de estudio. Para todas las fechas de muestreo, el tratamiento 2B fue estadísticamente diferente de 2A y 3A, mientras que el tratamiento 3B logró diferenciarse en la mayoría de las fechas de 3A ( $p$ -valor $<0,05$ ).

El tratamiento 2B mostró la mayor cantidad de nudos nuevos por panícula, alcanzando una mediana máxima de 6 NNN/pan desde 4/2/2021 (Fig.12). Mientras que el tratamiento que obtuvo menores NNN/pan fue 3A registrando 0,59.

**Figura 12**

*Evolución en el tiempo del NNN/pan para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Arbequina. LA flecha indica el inicio de los tratamientos.*



*Nota.* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticas dentro de cada fecha ( $p$ -valor $<0,05$ )

La variable diámetro de brindilla no mostró diferencias significativas en la comparación de medias en la última fecha de registro, pero sí mostro diferencias el %Crecimiento. El tratamiento con mayor media es 2B, el cual se diferencia estadísticamente de 2A y 3A. El resto de los tratamientos se comportaron de forma intermedia (Tabla 4). Al igual que en las variables anteriores existe una tendencia a que las ramas de baja carga se posicionan con los mayores valores absolutos medidos en mm de calibre.

**Tabla 4**

*Cuadro comparativo de calibre de ramas base según carga de fruta y tratamiento de riego para la primera y la última fecha de muestreo para Arbequina.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>CALIBREf</b> | <b>% Crecimiento</b> |    |
|--------------------|-----------------|----------------------|----|
| 1A                 | 3,49            | 12                   | ab |
| 2A                 | 3,08            | 9                    | b  |
| 3A                 | 3,02            | 8                    | b  |
| 1B                 | 3,25            | 15                   | ab |
| 2B                 | 2,92            | 28                   | a  |
| 3B                 | 3,12            | 12                   | ab |
| p-valor            | 0,1412          | 0,0175               |    |

*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Las variables productivas a nivel planta se presentan en la Tabla 5. Los volúmenes de copa muestran diferencias significativas, para el inicio y al final de la temporada. Los árboles del tratamiento "T50" tenían los mayores volúmenes de copa al inicio del ensayo. Al final del ensayo los árboles de los tratamientos con riego presentaron mayores volúmenes de copa en comparación a los árboles sin riego. Debido a la diferencia del punto de partida se analizó la diferencia en crecimiento relativa, sin encontrarse diferencias significativas en esta variable. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de riego para la variable Rendimiento, ni para la variable Eficiencia productiva.

**Tabla 5**

*Volumen de copa al inicio y al final de la temporada de crecimiento, rendimiento y eficiencia productiva según tratamiento para cultivar Arbequina.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Vol. Copa – inicio (m<sup>3</sup>)</b> |    | <b>Vol. Copa- final (m<sup>3</sup>)</b> |   | <b>% Crecimiento</b> | <b>Rend. (kg/árbol)</b> | <b>Ef. Prod. (kg/m<sup>3</sup>copa)</b> |
|--------------------|---|----|---|---|----------------------|-------------------------|---|
| T0                 | 17,8                                      | b  | 29,8                                    | b | 69%                  | 25,4                    | 1,46                                    |
| T50                | 27,0                                      | a  | 43,3                                    | a | 65%                  | 34,6                    | 1,29                                    |
| T100               | 24,0                                      | ab | 42,8                                    | a | 80%                  | 37,2                    | 1,62                                    |
| p-valor            | 0,019                                     |    | 0,006                                   |   | 0,74                 | 0,26                    | 0,69                                    |

*Nota.* Letras diferentes las curvas implican diferencias significativas entre tratamientos (p-valor<0,05). Rend. – Rendimiento; Ef. Prod. – Eficiencia productiva.

## 4.2 FRANTOIO

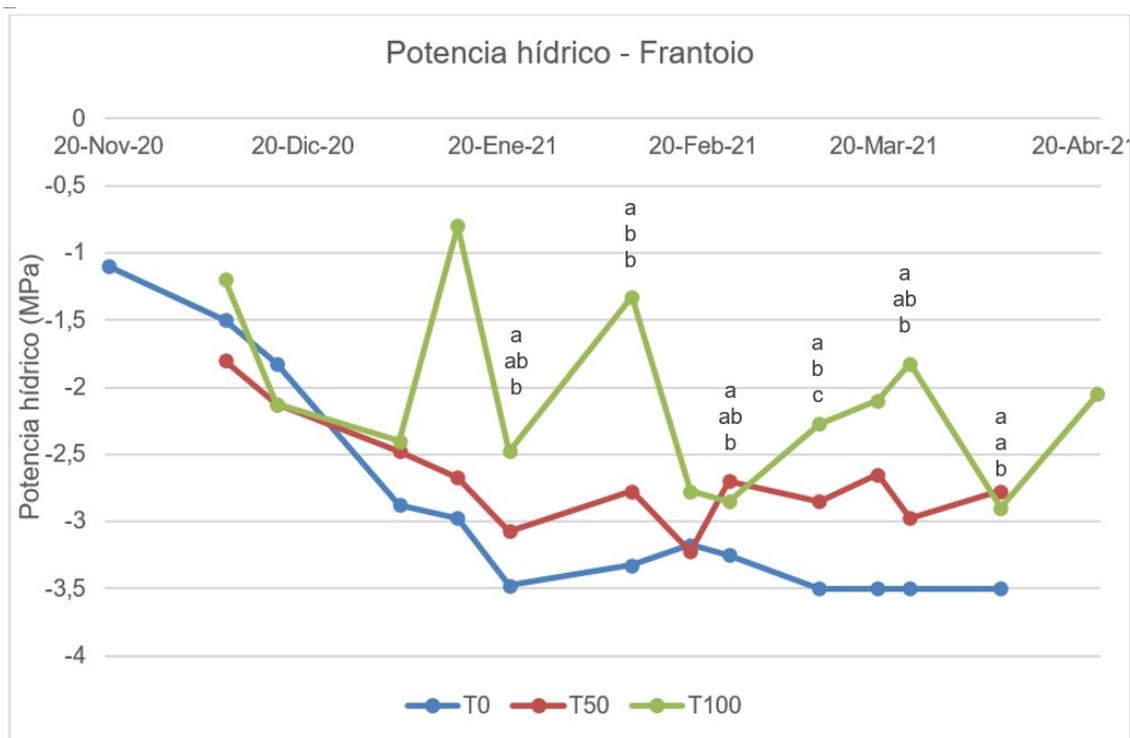
### 4.2.1 Parámetros hídricos

#### 4.2.1.1 Potencial hídrico

Las plantas T0 presentaron menores potenciales hídricos que las plantas T100 (Fig. 13) estadísticamente significativa para la mayoría de las fechas de muestreo. Las plantas del tratamiento T0 presentaron valores de entre -1,1 y -3,5 MPa, las plantas bajo tratamiento T50 registraron valores entre -1,8 y -3,2 MPa, mientras que las plantas bajo tratamiento T100 presentaron valores entre -1,2 y -2,9 MPa. Las plantas sin regar (T0) presentaron los menores valores de potencial hídrico registrados, estadísticamente diferentes de las plantas bajo T100. Por otra parte, las plantas en tratamiento T50, tuvieron un comportamiento intermedio entre los tratamientos T0 y T100.

**Figura 13**

*Evolución del potencial hídrico de la hoja (MPa) durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Frantoio.*



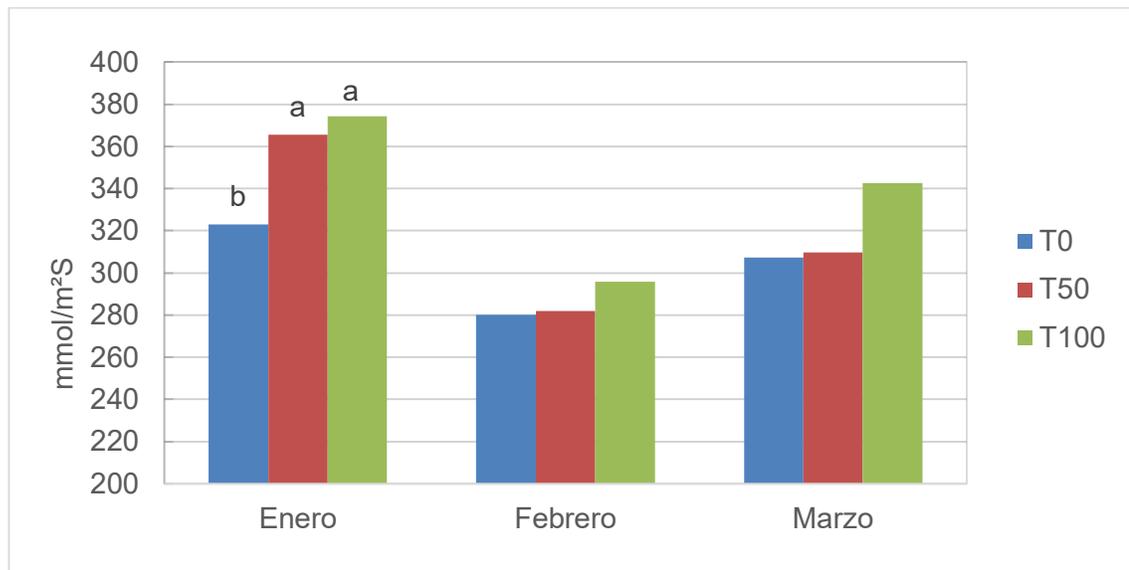
*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

#### 4.2.1.2 Conductancia estomática

El cultivar Frantoio sólo presentó diferencias estadísticamente significativas para la medición de enero (Fig. 14). El resto de las mediciones no presentaron diferencias entre tratamientos.

**Figura 14**

*Conductancia estomática durante la temporada de crecimiento (T0: 0%ETc; T50: 50%ETc; T100: 100%ETc) para el cultivar Frantoio.*



*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

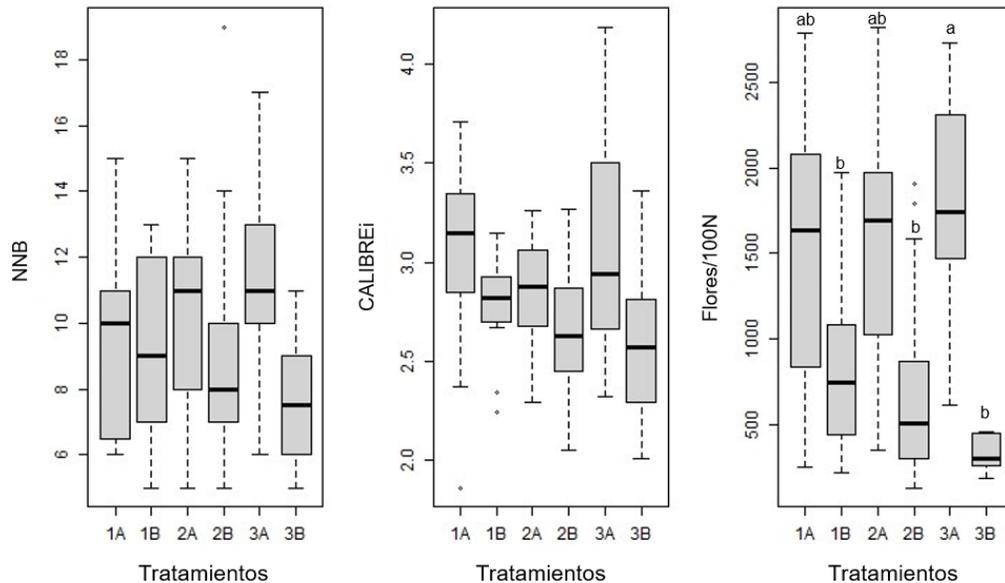
#### 4.2.2 Descripción de las brindillas

A partir del gráfico de cajas (Fig. 15) se pueden describir algunas variables de interés de las brindillas al momento de seleccionarlas. Las brindillas de alta carga de flores tienen las mayores medianas para las variables: NNB, CALIBREi y Flores/100N. Sin embargo, sólo se observan diferencias significativas para la variable Flores/100N ( $p$ -valor: 0,0001).

Para la variable Flores/100N, solamente el tratamiento 3A logró diferenciarse estadísticamente de 1B, 2B y 3B. Mientras que los tratamientos 1A y 2A se comportaron de forma intermedia.

**Figura 15**

Gráfico de cajas para las variables: NNB, CALIBREi, Flores/100N (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) del cultivar Frantoio.



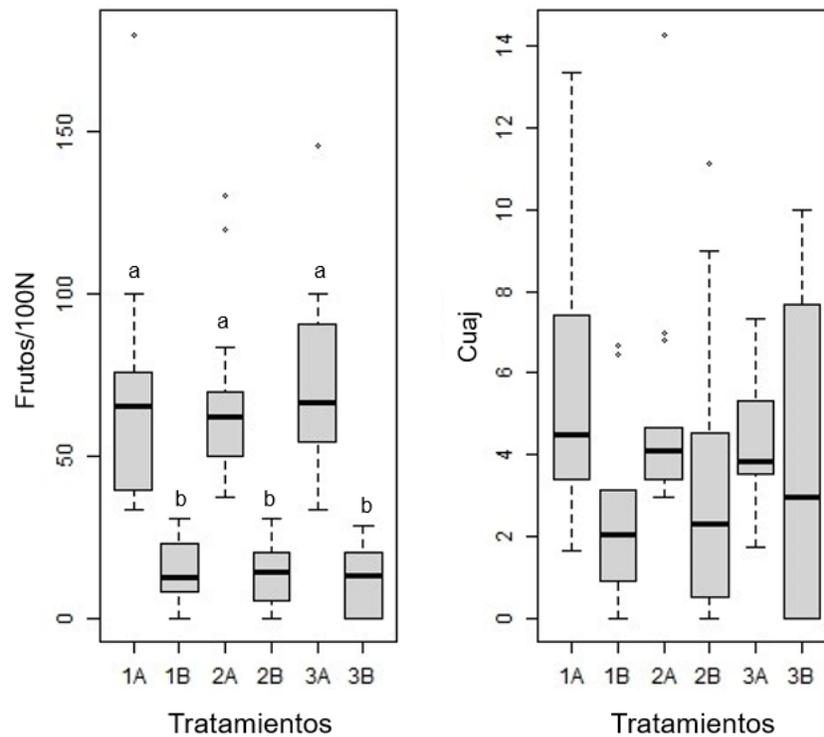
*Nota.* Letras diferentes las cajas implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Las ramas seleccionadas por alta carga de flores presentaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de flores cada cien nudos, respecto de las ramas seleccionadas por baja floración.

Para la variable Frutos/100N todos los tratamientos de alta carga de frutos presentaron diferencias estadísticas frente a los de baja carga de frutos (Fig. 16). En cuanto al cuajado, medido como % cuajado (Cuaj), los tratamientos no mostraron diferencias.

**Figura 16**

Gráfico de cajas para las variables: Frutos/100N y Cuaj. (%Cuajado) (1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para el cultivar Frantoio.

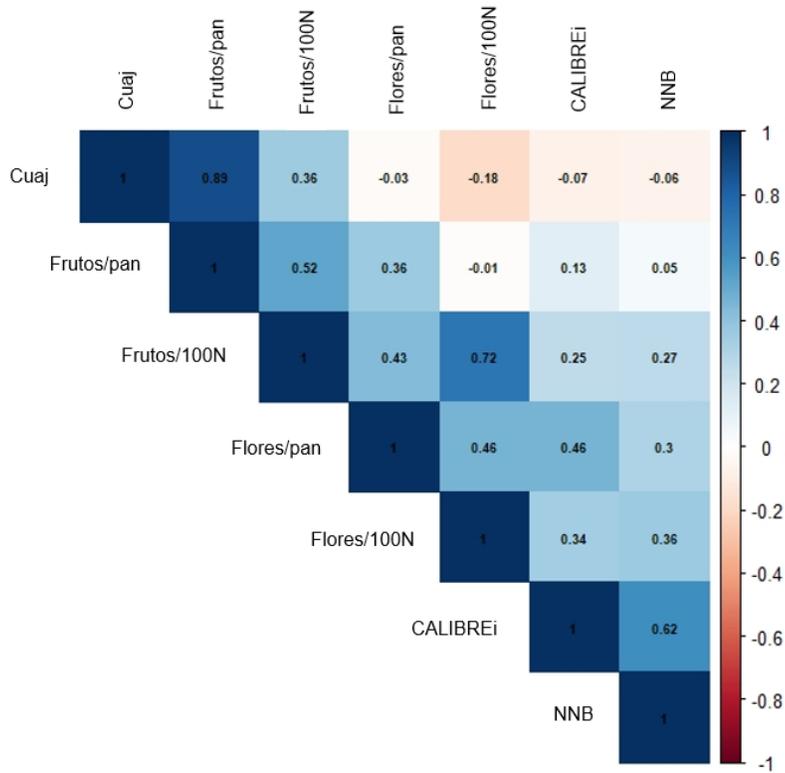


Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Para entender su comportamiento y profundizar más en la descripción de las brindillas de estudio, se realizó un análisis de correlaciones entre las variables (Ver Fig. 17): CALIBREi, NNB, Flores/pan, Flores/100N, Frutos/100N, Frutos/pan y Cuaj. A partir del análisis del gráfico se puede destacar la alta correlación entre CALIBREi x NNB y Flores/100N x Frutos/100N. Por otra parte, la correlación Flores/100N x Cuaj resulta negativa.

**Figura 17**

*Correlación de variables de estudio de Frantoio.*



#### 4.2.3 Variables objetivo

Para el análisis del crecimiento vegetativo se graficó la evolución de las variables: NNN/100N (Fig. 18) y NNN/pan (Fig. 19) en todo el período estudiado. Debe señalarse que los tratamientos se instalan el 26/12/2020 por lo cual sólo a partir de las fechas de muestreo del 18/1/2021, corresponde analizar la respuesta a los tratamientos. Sin embargo, dada la dependencia del crecimiento previo en cada fecha de muestreo el análisis de comparación de medias con la estrategia estadística de “medidas repetidas en el tiempo” se aplica a todas las fechas de muestreo.

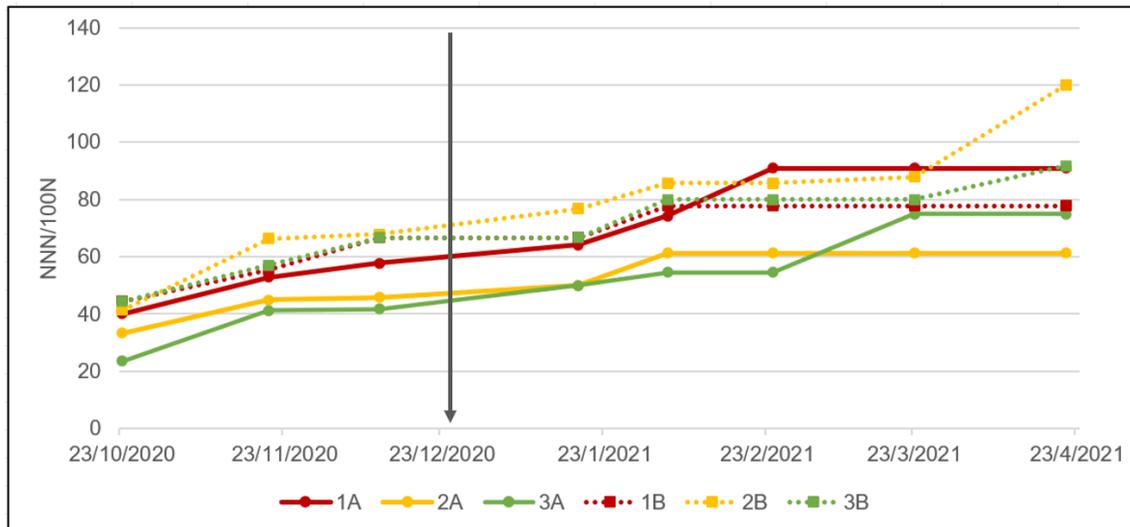
Se observa en la evolución de NNN/100N, (Fig. 18) que las ramas de baja carga de fruta se ubican en los estratos superiores de esta variable al igual que sucede en Arbequina. Por el contrario, las ramas con alta carga de

En la evolución de NNN/100N (Fig. 11) se observa que, al igual que sucede en Arbequina, las ramas de baja carga de fruta se ubican en los estratos superiores de esta variable. Por el contrario, las ramas con alta carga de frutos presentan menores NNN/100N en todas las fechas de muestreo. Si bien, esta jerarquización de tratamientos en términos generales, se mantiene a lo largo del período de estudio, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las fechas de muestreo ( $p$ -valor $<0,05$ ). Las mayores medianas se observaron en las brindillas con baja carga de frutos con 50%ETc y 100%ETc.

Al final del período, se alcanzó un máximo de 120 NNN/100N correspondiente al tratamiento 2B, mientras que el tratamiento 2A llegó a un máximo de 61 NNN/100N. Al igual que para Arbequina, no se observan diferencias entre tratamientos debidas al efecto riego.

**Figura 18**

*Evolución en el tiempo del NNN/100N para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Frantoio..*



*Nota.* Letras diferentes las curvas implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

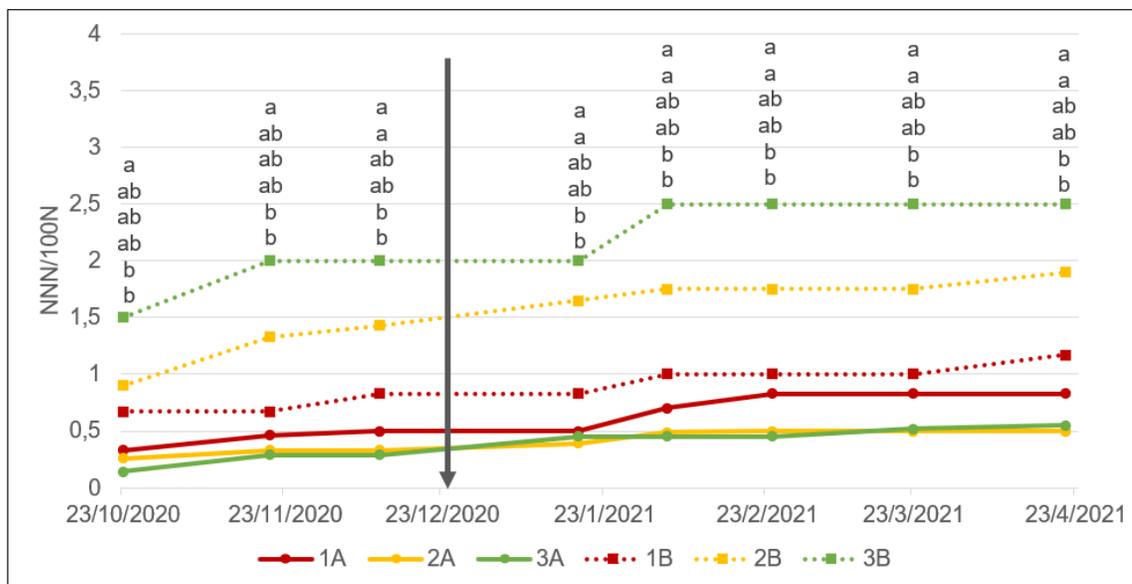
Con un 95% de confianza es posible afirmar que para la fecha 11/12/2020 (previo a la aplicación de los tratamientos) un 70% de los nudos totales generados en la temporada ya se habían desarrollado.

Se observa en la evolución de NNN/pan, (Fig. 19) un comportamiento similar al descrito para la variable NNN/100N. Las ramas de baja carga de fruta tienen significativamente mayores NNN/pan respecto de las ramas con alta carga de frutos. Esta jerarquización de tratamientos en términos generales se mantiene a lo largo del período de estudio. Las brindillas de los tratamientos 2B y 3B se diferenciaron estadísticamente de 2A y 3A, en todas las fechas muestreadas luego de comenzado el tratamiento de riego. No hay diferencias significativas debidas al riego en las ramas de alta carga de frutos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

El tratamiento 3B mostró la mayor cantidad de nudos nuevos por panícula, alcanzando una mediana de 2,5 NNN/pan para la última fecha (Fig.12). Mientras que el tratamiento que obtuvo menores NNN/pan fue 2A registrando 0,5.

**Figura 19**

*Evolución en el tiempo del NNN/pan para los seis tratamientos: 1A (T0 – Alta carga); 2A (T50 – Alta carga); 3A (T100 – Alta carga); 1B (T0 – Baja carga); 2B (T50 – Baja carga) y 3B (T100 – Baja carga) para Frantoio.*



*Nota.* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticas dentro de cada fecha. Análisis como medidas repetidas en el tiempo.

La variable diámetro de brindilla no mostró diferencias significativas en la comparación de medias en la última fecha de registro ni en el %Crecimiento.

**Tabla 6**

*Cuadro comparativo de calibre de ramas según carga de fruta y tratamiento de riego para la primera y la última fecha de muestreo en Frantoio.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>CALIBREf</b> | <b>% Crecimiento</b> |
|--------------------|-----------------|----------------------|
| 1A                 | 3,30            | 9                    |
| 2A                 | 3,03            | 7                    |
| 3A                 | 3,34            | 8                    |
| 1B                 | 2,97            | 7                    |
| 2B                 | 2,91            | 9                    |
| 3B                 | 2,81            | 11                   |
| p-valor            | 0,031           | 0,9828               |

*Nota.* Letras diferentes implican diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Las variables productivas a nivel planta se presentan en la Tabla 7. Los volúmenes de copa no muestran diferencias significativas, para el inicio y al final de la temporada. En cambio, el rendimiento obtenido y la eficiencia productiva, fue diferente estadísticamente entre el tratamiento “T100” y “T0”, alcanzando para el caso de rendimiento por planta, 52 kg y 34 kg respectivamente. La eficiencia productiva del período fue de 1,82 kg/m<sup>3</sup> para “T100” y 1,14 kg/m<sup>3</sup> para “T0”. Para las dos variables mencionadas, el tratamiento “T50”, tuvo un comportamiento intermedio entre los tratamientos “T100” y “T0” (Tabla 7).

**Tabla 7**

*Tabla volumen de copa al inicio y al final de la temporada de crecimiento, rendimiento y eficiencia productiva según tratamiento de riego para Frantoio.*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Vol. Copa -<br/>13/11/2020</b> | <b>Vol. Copa-<br/>21/4/2021</b> | <b>%<br/>Crecimiento</b> | <b>Rend.<br/>(kg/árbol)</b> |    | <b>Ef. Prod.<br/>(kg/m<sup>3</sup> copa)</b> |    |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----|--|----|
| T0                 | 30,0                              | 50,0                            | 67                       | 34,3                        | b  | 1,14   | b  |
| T50                | 30,2                              | 52,4                            | 75                       | 42,3                        | ab | 1,41   | ab |
| T100               | 28,6                              | 47,2                            | 65                       | 52,1                        | a  | 1,82   | a  |
| p-valor            | 0,34                              | 0,366                           | 0,76                     | 0,0112                      |    | 0,0013                                       |    |

Referencias: (Rend. – Rendimiento; Ef. Prod. – Eficiencia productiva). Letras diferentes las curvas implican diferencias significativas entre tratamientos (p-valor<0,05).

## 5 DISCUSIÓN

Los valores de potencial hídrico xilemático parten de niveles de -1,0 MPa y -1,5 MPa (Arbequina y Frantoio respectivamente) al inicio del estudio. En las plantas sin riego se registraron mínimos de -3,4 MPa y -3,5 MPa (Arbequina y Frantoio respectivamente) al final del período de estudio. Estos rangos de potencial hídrico registrados al mediodía, son similares a los obtenidos por Gómez-del-Campo et al. (2008) e Iñesta et al. (2009) en la cuenca del mediterráneo. Sin embargo, Marra et al. (2016) y Moriana et al. (2012) registran potenciales hídricos en secano de -6,5 MPa y -8MPa con estrategias de riego similares (%ETc).

En cuanto a las respuestas al déficit hídrico, para los dos cultivares en estudio, el potencial hídrico de las plantas T0, fue estadísticamente menor, respecto a T100. Los tratamientos T50 se comportaron de forma intermedia al igual que los resultados obtenidos por Hueso et al. (2019).

El nivel de déficit hídrico en plantas no supera los -3,5 MPa en las condiciones de estudio. En este contexto, nuestros tratamientos de riego estarían dentro de un estado hídrico de estrés moderado (Marino et al., 2018). Si bien, este análisis del desarrollo del cultivo en condiciones de un bajo DPV fue previamente reportado por Conde-Innamorato et al. (2022). Según Giorio et al. (1999) el potencial hídrico y la conductancia estomática están principalmente determinados por el contenido de agua en el suelo y en menor medida por el DPV, ya que para el olivo no se encuentra correlación directa entre DPV y la conductancia estomática sino hasta que el DPV supera valores de 40 mb (Fernández et al., 1997).

Para la variedad Arbequina, las mediciones de conductancia estomática mostraron diferencias estadísticamente significativas entre plantas T0 y T100 para todas las mediciones (enero, febrero y marzo). Sin embargo, la variedad Frantoio, sólo obtuvo diferencias entre tratamientos para la primera fecha de muestreo. En todos los casos los tratamientos regados presentan mayor conductancia estomática frente a los no regados, asociados a los mejores estados hídricos de la planta. Similares resultados fueron reportados por Giorio et al. (1999).

Las brindillas que se utilizaron para la cuantificación de nudos en los brotes nuevos, eran dispares en cuanto a NNB, calibre, desarrollo de flores y cuajado de las mismas. Las diferencias significativas para las diferentes variables, dependen de que cultivar se analice. Se observa una tendencia de que las brindillas con mayor número flores y frutos (tratamientos de alta carga) son más grandes (mayor calibre y mayor número de nudos).

Estos resultados ameritan dos análisis diferentes, en primer lugar, se evidencia que, al ser un año de alta floración, las brindillas con pocas flores, eran escasas y se encontraban en ramas pequeñas. Esto sugiere la necesidad de realizar raleos de flores para tener brindillas base homogéneas en años de alta floración. Esta metodología uniformizará el tipo de brindilla y mejorará el análisis de los resultados. El segundo punto de análisis, es que estas diferencias entre brindillas en el inicio del desarrollo del ciclo reproductivo y vegetativo, pueden estar condicionando fuertemente, o enmascarando el efecto de los tratamientos de riego. Debe señalarse que, debido a que el estudio se realiza en un año de alta floración, existieron muy pocos nudos base brotados vegetativamente. Esta variable no pudo ser registrada pero seguramente es otro aspecto a analizar en futuros ensayos.

Los tratamientos de riego aplicados desde endurecimiento de carozo hasta cosecha, no mostraron diferencias en cuanto a crecimiento vegetativo durante el período aplicado. Similares resultados obtuvieron Marra et al. (2016) y Hueso et al. (2019). Las condiciones de déficit hídrico a las que se someten a las plantas, es moderado. Lo cual les permitió, no resentir su crecimiento vegetativo aún en condiciones de secano (Pierantozzi et al., 2020). Según Moriana et al. (2002) y Marino et al. (2018) parámetros fisiológicos como la fotosíntesis se ve afectada a potenciales hídricos menores que -3,5 MPa.

Sin embargo, es significativo para ambos cultivares, el efecto de la presencia de fruta en las brindillas sobre las variables vegetativas estudiadas. Esto evidencia que existe un nivel de competencia entre los brotes vegetativos en formación y los frutos en crecimiento, siendo prioridad para la planta, el fruto. El efecto negativo de la carga en limitar el crecimiento vegetativo, es superior al efecto del riego. Similares resultados

obtuvieron Martín-Vertedor et al. (2011), Aïachi Mezghani et al. (2012) y Trentacoste et al. (2019), señalando que el fruto en desarrollo es el principal factor regulador del crecimiento vegetativo.

Para las dos variedades de estudio, entre un 70 y 75% de los nudos nuevos generados en la temporada de crecimiento (2020-2021) se desarrollaron previo a la instalación de los tratamientos de riego. Similares resultados obtuvo Agüero Alcaras (2007). Este resultado muestra la importancia del período de floración en cuanto a crecimiento vegetativo, y reduce la posibilidad de identificar efectos en etapas posteriores.

Por otra parte, el rendimiento y eficiencia productiva obtenidas en árboles bajo T100, fue significativamente mayor para el cultivar Frantoio. Similares resultados obtuvieron Hueso et al. (2019) y Marra et al. (2016), para los cuales la eficiencia productiva fue mayor en los tratamientos regados que los tratamientos en seco. Marra et al. (2016) señalan que estas diferencias se deben principalmente al peso de fruto fresco y no a la cantidad de frutos, cuando el riego se aplica luego de la caída fisiológica.

## 6 CONCLUSIÓN

Los tratamientos de riego se vieron reflejados en los parámetros hídricos evaluados (potencial hídrico y conductancia), registrando los menores valores los árboles bajo tratamiento T0, y los mayores valores los árboles bajo T100. Los árboles bajo tratamiento T50 se comportaron de forma intermedia a T0 y T100. Los rangos obtenidos no son tan extremos como han sido reportado para otras condiciones, a pesar de ser sin riego.

La brindilla base tiene un efecto significativo en la variable NNN ya sea que ésta se mida como NNN/100N o NNN/pan. Esto señala la importancia de la selección de las ramas al comienzo de los ensayos y evidencia la importancia del crecimiento vegetativo durante el período de floración (70-75% del total de nudos generados, se desarrollaron previo al endurecimiento de carozo).

En cuanto a las variables de crecimiento vegetativo, se observa un efecto más importante de la carga de frutos que del riego, tanto en Frantoio como en Arbequina. La ausencia de respuesta en nuestras variables de estudio, podría deberse a que el rango de potenciales hídricos en secano, no se encontraba dentro de un rango que afecte la tasa de fotosíntesis.

### 6.1 CONSIDERACIONES FINALES

Para próximos experimentos que pretendan evaluar crecimiento vegetativo, es necesario utilizar la técnica de raleo de flores en años de alta floración para poder obtener brindillas homogéneas; utilizar macetas para forzar mayor déficit hídrico y cuantificar actividad fotosintética.

Como parámetro de rendimiento será necesario para próximos ensayos, medirlo como producción de aceite y no como peso fresco de frutos, ya que éste, podría estar enmascarando el rendimiento comercial.

## 7 RESUMEN

En los últimos 20 años la olivicultura en el Uruguay ha incrementado la superficie de producción, la mayoría de los establecimientos, no cuentan con sistema de riego. Actualmente el principal problema del rubro es la alternancia productiva, siendo el riego una de las herramientas para mitigarla. El objetivo del presente trabajo fue, evaluar el crecimiento vegetativo en función del suministro hídrico desde endurecimiento de carozo hasta cosecha. Se realizaron tres tratamientos de riego (T0: 0% ETc; T50: 50% ETc y T100: 100% ETc) en 12 árboles de Arbequina y 12 de Frantoio ubicados en INIA LB, Canelones. Se marcaron 8 ramas por árbol, 4 ramas con alta carga de flores y 4 con baja carga de flores. Durante la temporada de crecimiento se registró el potencial hídrico xilemático y la conductancia estomática. Cada tres semanas se contabilizaron la cantidad de nudos nuevos generados y la cantidad de frutos por rama. Los tratamientos de riego se vieron reflejados en los parámetros hídricos evaluados (potencial hídrico y conductancia), registrando los menores valores los árboles bajo tratamiento T0 y los mayores valores los árboles bajo T100. Sin embargo, el crecimiento vegetativo no evidenció diferencias a partir de los tratamientos aplicados. Entre un 70 y 75% de los nudos generados en la temporada de crecimiento se desarrolló previo a la instalación del experimento. Los resultados muestran un efecto más importante de la carga de frutos que del riego, tanto en Frantoio como en Arbequina. La ausencia de respuesta en nuestras variables de estudio, se debe a que el rango de potenciales hídricos en secano se correspondió con un déficit hídrico moderado. Para futuros experimentos se recomienda, en años de alta floración, utilizar la técnica de raleo de flores para poder seleccionar brindillas homogéneas.

Palabras clave: *Olea europaea* L; riego deficitario; potencial hídrico; brindilla; panícula

## 8 SUMMARY

In the last 20 years, olive growing in Uruguay has increased the production area, most of the cases do not have an irrigation system. Currently the main problem in the field is alternative bearing, irrigation being one of the tools to mitigate it. The objective of this work was to evaluate the vegetative growth as a function of the water supply from stone hardening to harvest. Three irrigation treatments (T0: 0% ETc; T50: 50% ETc and T100: 100% ETc) were carried out on 12 Arbequina and 12 Frantoio trees located in INIA LB, Canelones. Eight branches per tree were marked, 4 branches with high flower load and 4 with low flower load. During the growing season, xylem water potential and stomatal conductance were recorded. Every three weeks the number of new nodes generated and the number of fruits per branch were counted. The irrigation treatments were reflected in the evaluated water parameters (water potential and conductance), registering the lowest values for trees under T0 treatment and the highest values for trees under T100. However, the vegetative growth did not show differences from the applied treatments. Between 70 and 75% of the knots generated in the growing season developed prior to the installation of the experiment. The results show a more important effect of fruit load than irrigation treatments, both in Frantoio and Arbequina. The absence of response in our study variables is due to the fact that the range of water potentials in dry land was not within a range that affects the rate of photosynthesis. For future experiments it is recommended, in years of high flowering, to use the flower thinning technique in order to select homogeneous annual shoots.

Keywords: *Olea europaea* L; deficit irrigation; water potential; annual shoots; inflorescence

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Agüero Alcaras, L. M. 2007. Respuestas ecofisiológicas del olivo (*Olea europaea* L.) al riego deficitario controlado en pre y poscosecha. Tesis Dr. Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 160 p.
2. Aguilera, F.; Ruiz, L. 2012. Altitudinal fluctuations in the olive pollen emission: An approximation from the olive groves of the south-east Iberian Peninsula. *Aerobiologia*. 28: 403 - 411.
3. Agustí, M. 2010. Fruticultura. Madrid, Mundi-Prensa. 507 p.
4. Aïachi Mezghani, M.; Masmoudi Charfi, C.; 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. (en línea). *Scientia Horticulturae*. 146: 143 - 152. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.030>
5. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Howell, T. A.; Jensen, M. E. 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. (en línea). *Agricultural Water Management*. 98(6): 899 - 920. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015>
6. Arenare, L.; Ortiz, A. 2020. El negocio del olivo en el escenario agropecuario. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 176: 65 - 68. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/191\\_2983.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/191_2983.pdf)
7. Arias, M.; Severino, V. 2013. Fisiología de la fructificación: Producción del olivo en las condiciones climáticas del Uruguay. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. *Aceites de oliva: De la planta al consumidor*. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1., pp. 253 - 268.
8. ASOLUR (Asociación Olivícola Uruguaya, UY). 2021. Uruguay y el COI. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://asolur.org.uy/uruguay-y-el-coi-2/>
9. Ayerza, R.; Steven Sibbett, G. 2001. Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. (en línea). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 84(3): 277 - 285. Consultado 2 dic. 2022 Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00260-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00260-7)

10. Barranco, D. 2017. Variedades y patrones. In: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. eds. El cultivo del olivo. 7a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 65 - 95.
11. Barreiro, M.; Arizmendi, F.; Trinchin, R. 2019. Variabilidad observada del clima en Uruguay. Montevideo, Udelar. 52 p. Consultado dic. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2020-08/Producto%202.pdf>
12. Ben-Gal, A.; Yermiyahu, U.; Zipori, I.; Presnov, E.; Hanoch, E.; Dag, A. 2011. The influence of bearing cycles on olive oil production response to irrigation. (en línea). Irrigation Science. 29: 253 - 263. Consultado 6 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0237-1>
13. Bernaschina, Y.; Alaniz, S.; Conde-Innamorato, P.; Leoni, C. 2019. Response of Olive (*Olea europaea*) cultivars against *Venturia oleaginea* causing Olive Scab in Uruguay. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 23(1): 47 - 55. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.31285/AGRO.23.1.13>
14. Caballero, J. 2013. La olivicultura en Iberoamérica. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. Aceites de oliva: De la planta al consumidor. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 15 - 35.
15. Cabré, F. M.; Solman, S.; Núñez, M. 2016. Regional climate change scenarios over southern South America for future climate (2080-2099) using the MM5 Model: Mean, interannual variability and uncertainties. (en línea). *Atmósfera*. 29(1): 35 - 60. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.01.04>
16. Camposeo, S.; Ferrara, G.; Palasciano, M.; Godini, A. 2012. About the biological behaviour of cultivar "Coratina". (en línea). *Acta Horticulturae*. no. 949: 129 - 134. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.949.17>
17. Castillo, M. 2012. Aspectos distintivos en el cultivo del olivar entre la región de Umbría (Italia) y la provincia de Sevilla. (en línea). *Espacio y Tiempo*. no. 26: 75 - 102. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3966640>
18. Conde, P.; Montelongo, M.; Leoni, C. 2013. Enfermedades del olivo. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. Aceites de oliva: De la planta al consumidor. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 183 - 214.

19. \_\_\_\_\_; Villamil, J.; Bruzzone, J.; Leoni, C.; Zoppolo, R.; Villamil, J. eds. 2019. Catálogo de cultivares de olivos: Evaluados en INIA - Uruguay. Montevideo, INIA. 76 p. (Boletín de Divulgación no. 117).
20. Conde-Innamorato, P.; Arias-Sibillotte, M.; Villamil, J. J.; Bruzzone, J.; Bernaschina, Y.; Ferrari, V.; Zoppolo, R.; Villamil, J.; Leoni, C. 2019. It is feasible to produce olive oil in temperate humid climate regions. (en línea). *Frontiers in Plant Science*. 10: 1544. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01544>
21. \_\_\_\_\_; García, C.; Villamil, J. J.; Ibáñez, F.; Zoppolo, R.; Arias-Sibillotte, M.; De León, I. P.; Borsani, O.; García-Inza, G. P. 2022. The impact of irrigation on olive fruit yield and oil quality in a humid climate. (en línea). *Agronomy*. 12(2): 313. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy12020313>
22. Dag, A.; Bustan, A.; Avni, A.; Tzipori, I.; Lavee, S.; Riov, J. 2010. Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europea* L.). (en línea). *Scientia Horticulturae*. 122(4): 469 - 472. Consultado 5 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.11.014>
23. Docampo, R.; Silva, A. 2013. Suelos y su manejo. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. *Aceites de oliva: De la planta al consumidor*. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 91 - 122.
24. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. *Suelos del Uruguay: Origen, clasificación, manejo y conservación*. Montevideo, Hemisferio Sur. 2 vol.
25. Fernández, J. E.; Moreno, F.; Girón, I. F.; Blázquez, O. M. 1997. Stomatal control of water use in olive tree leaves. (en línea). *Plant and Soil*. 190(2): 179 - 192. Consultado 3 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1004293026973>
26. Ferronato, B.; Riella, V. 2017. Descripción de la calidad de aceites de oliva de los cultivares Arbequina y Coratina para el este del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 67 p.
27. Giménez, A.; Castaño, J. 2013. Características agroclimáticas del Uruguay. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. *Aceites de oliva: De la planta al consumidor*. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 37 - 50.

28. Giorio, P.; Sorrentino, G.; D'Andria, R. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. (en línea). *Environmental and Experimental Botany*. 42(2): 95 - 104. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00023-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00023-4)
29. Goldschmidt, E. E.; Sadka, A. 2021. Yield alternation: Horticulture, physiology, molecular biology and evolution. (en línea). *Horticultural Reviews*. 48: 363 - 418. Consultado 6 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1002/9781119750802.ch8>
30. Gómez-Del-Campo, M.; Leal, A.; Pezuela, C. 2008. Relationship of stem water potential and leaf conductance to vegetative growth of young olive trees in a hedgerow orchard. (en línea). *Australian Journal of Agricultural Research*. 59(3): 270 - 279. Consultado 12 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1071/AR07200>
31. Guerrero, A. 2003. Nueva olivicultura. Madrid, Mundi-Prensa. 304 p.
32. Haberman, A.; Bakhshian, O.; Cerezo-Medina, S.; Paltiel, J.; Adler, C.; Ben-Ari, G.; Mercado, J. A.; Pliego-Alfaro, F.; Lavee, S.; Samach, A. 2017. A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. (en línea). *Plant, Cell & Environment*. 40(8): 1263 - 1280. Consultado 5 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/pce.12922>
33. 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). (en línea). *Agricultural Water Management*. 223: 105589. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.006>
34. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). s.f. Banco datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado oct. 2021. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
35. Iniesta, F.; Testi, L.; Orgaz, F.; Villalobos, F. J. 2009. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. (en línea). *European Journal of Agronomy*. 30(4): 258 - 265. Consultado 3 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.12.004>
36. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). s.f. Climatología del Invierno (junio, julio, agosto) en Uruguay 1981-2010. (en línea). Montevideo. 19 p. Consultado dic. 2022. Disponible en

[https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2020-09/CLIMATOLOGIA%20DEL%20INVIERNO\\_LQ.pdf](https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2020-09/CLIMATOLOGIA%20DEL%20INVIERNO_LQ.pdf)

37. Larcher, W. 2000. Temperature stress and survival ability of mediterranean sclerophyllous plants. (en línea). *Plant Biosystems*. 134(3): 279 - 295. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/11263500012331350455>
38. Lavee, S. 2007. Biennial bearing in olive (*Olea europea*). (en línea). *Annales Series Historia Naturalis*. 1(17): 101 - 112. Consultado 5 dic. 2022. Disponible en <https://www.floridaolive.org/wp-content/uploads/2017/08/Alternate-Bearing-Olive.pdf>
39. \_\_\_\_\_. 2015. Alternate bearing in olive initiated by abiotic induction leading to biotic responses. (en línea). *Advances in Horticultural Science*. 29(4): 213 - 220. Consultado 5 dic. 2022. Disponible en [https://www.jstor.org/stable/pdf/26525302.pdf?refreqid=excelsior%3A96af584a53aae82df1093635837d6516&ab\\_segments=&origin=&acceptTC=1](https://www.jstor.org/stable/pdf/26525302.pdf?refreqid=excelsior%3A96af584a53aae82df1093635837d6516&ab_segments=&origin=&acceptTC=1)
40. Malavolta, C.; Delrio, G.; Boller, E. F. 2002. Guidelines for Integrated Production of Olives IOBC Technical Guideline III. (en línea). *IOBC WPRS Bulletin OILB srop*. 25(4): 1 - 8. Consultado 12 dic. 2022. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Gavino-Delrio/publication/281373759\\_Guidelines\\_for\\_integrated\\_control\\_of\\_olives/links/55e451db08ae2fac472194b8/Guidelines-for-integrated-control-of-olives.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gavino-Delrio/publication/281373759_Guidelines_for_integrated_control_of_olives/links/55e451db08ae2fac472194b8/Guidelines-for-integrated-control-of-olives.pdf)
41. Marino, G.; Caruso, T.; Ferguson, L.; Marra, F. P. 2018. Gas exchanges and stem water potential define stress thresholds for efficient irrigation management in olive (*Olea europea* L.). (en línea). *Water*. 10(3): 342. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <http://dx.doi.org/10.3390/w10030342>
42. 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. (en línea). *Irrigation Science*. 34(4): 313 - 325. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0505-9>
43. Martín-Vertedor, A. I.; Pérez, J. M.; Prieto, M. H.; Castiel, E. F. 2011. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*olea europaea* L., cv. Morisca): I. Growth and water relations. (en línea). *Agricultural Water Management*. 98(6): 941 - 949. Consultado 3 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.002>

44. Melo-Abreu, J.; Barranco, D.; Cordeiro, A.; Tous, J.; Rogado, B.; Villalobos, J. 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. (en línea). *Agricultural and Forest Meteorology*. 125(1-2): 117 - 127. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.02.009>
45. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2020. Resultado del primer censo de productores de olivos. (en línea). Montevideo. 5 p. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/diea-presenta-resultados-del-primer-censo-productores-olivos>
46. Monteith, J. L. 1965. Evaporation and environment. (en línea). *Symposia of the Society for Experimental Biology*. 19: 205 - 234. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://repository.rothamsted.ac.uk/download/8ae229c1c0ea4f617750d8e98d2ee6c356c306fc01a39bb584a18eb112f443e1/3879831/Monteith65.pdf>
47. Moral, J.; Alsalimiya, M.; Roca, L. F.; Díez, C. M.; Barranco, D.; Rallo, L.; Trapero, A. 2015. Relative Susceptibility of New Olive Cultivars to *Spillocaea oleagina*, *Colletotrichum acutatum*, and *Pseudocercospora cladosporioides*. (en línea). *Plant Disease*. 99(1): 58 - 64. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-14-0355-RE>
48. Moriana, A.; Villalobos, F. J.; Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. (en línea). *Plant, Cell & Environment*. 25(3): 395 - 405. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00822.x>
49. \_\_\_\_\_; Orgaz, F.; Pastor, M.; Feres, E. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. (en línea). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128(3): 425 - 431. Consultado 30 jun. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.3.0425>
50. \_\_\_\_\_; 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. (en línea). *Agricultural Water Management*. 112: 43 - 54. Consultado 3 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.003>
51. Orgaz, F.; Fereres, E.; Testi, L. 2017. Riego. In: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. eds. *El cultivo del olivo*. 7a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 461 - 490.

52. Palese, A. M.; Vignozzi, N.; Celano, G.; Agnelli, A. E.; Pagliai, M.; Xiloyannis, C. 2014. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. (en línea). *Soil and Tillage Research*. 144: 96 - 109. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.010>
53. Patiño, V. M. 1990. Historia de la cultura material en la América equinoccial: Alimentación y alimentos. Bogotá, Instituto Caro y Cuervo. 328 p.
54. Pereira Benítez, J. E. 2015. Historia de la olivicultura en Uruguay. *Plantae*. no. 1: 12 - 14.
55. Pierantozzi, P.; Torres, M.; Tivani, M.; Contreras, C.; Gentili, L.; Parera, C.; Maestri, D. 2020. Spring deficit irrigation in olive (cv. Genovesa) growing under arid continental climate: Effects on vegetative growth and productive parameters. (en línea). *Agricultural Water Management*. 238: 106212. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106212>
56. Puppo, L.; García, C.; Bautista, E.; Hunsaker, D. J.; Beretta, A.; Girona, J. 2019. Seasonal basal crop coefficient pattern of young non-bearing olive trees grown in drainage lysimeters in a temperate sub-humid climate. (en línea). *Agricultural Water Management*. 226: 105732. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105732>
57. Rallo, L.; Barranco, D.; Castro-García, S.; Connor, D. J.; Gómez del Campo, M.; Rallo, P. 2013. High-Density Olive Plantations. (en línea). *Horticultural Reviews*. 41: 303 - 383. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1002/9781118707418.ch07>
58. \_\_\_\_\_; Cuevas, J. 2017. Fructificación y producción. In: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. eds. *El cultivo del olivo*. 7a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 145 - 186.
59. Rapoport, H.; Moreno-Alías, I. 2017. Botánica y morfología. In: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. eds. *El cultivo del olivo*. 7a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 36 - 62.
60. Riella, V.; Borges, A.; Arias-Sibillotte, M.; Speroni, G.; Speranza, P. 2022. The effective pollination period of the olive cultivar 'Arbequina' (*Olea europaea* L.) in a non-traditional region. (en línea). *South African Journal of Botany*. 151: 246 - 254. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.004>
61. Sánchez-Estrada, A.; Cuevas, J. 2018. 'Arbequina' olive is self-incompatible. (en línea). *Scientia Horticulturae*. 230: 50 - 55. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.018>

62. Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Bradstreet, E. D.; Hemmingsen, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. (en línea). *Science*. 148(3668): 339 - 346. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
63. Severino, V.; Arbiza, H.; Arias, M.; Manzi, M.; Gravina, A. 2011. Modelos de cuantificación de frío efectivo invernal adaptados a la producción de manzana en Uruguay. (en línea). *Agrociencia (Uruguay)*. 15(2): 19 - 28. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482011000200003](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482011000200003)
64. Speroni, G.; Trujillo, C.; Souza-Pérez, M.; Bererian, N.; Borges, A.; Severino, V.; Arias-Sibolotte, M. 2021. Floral biology and pollen grain presentation in 'Arbequina' Olive (*Olea europaea* L.) cultivar under non-traditional crop climatic conditions. (en línea). *Botany Letters*. 168(4): 594 - 604. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/23818107.2021.1952650>
65. Tognetti, R.; D'Andria, R.; Lavini, A.; Morelli, G. 2006. The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). (en línea). *European Journal of Agronomy*. 25(4): 356 - 364. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.07.003>
66. Torres, M.; Pierantozzi, P.; Searles, P.; Cecilia Rousseaux, M.; García-Inza, G.; Miserere A.; Bodoira, R.; Contreras, C.; Maestri, D. 2017. Olive cultivation in the southern hemisphere: Flowering, water requirements and oil quality responses to new crop environments. (en línea). *Frontiers in Plant Science*. 8: 1830. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01830>
67. Tous, J.; Romero, A.; Plana, J.; Guerrero, L.; Díaz, I.; Hermoso, J. F. 1997. Características químico-sensoriales de los aceites de oliva "Arbequina" obtenidos en distintas zonas de España. (en línea). *Grasas y Aceites*. 48(6): 415 - 424. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://docplayer.es/29828235-Characterísticas-químico-sensoriales-de-los-aceites-de-oliva-arbequina-obtenidos-en-distintas-zonas-de-espana.html>
68. 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. (en línea). *Irrigation Science*. 37(9): 533 - 546. Consultado 15 ago. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00632-8>

69. Turktas, M.; Inal, B.; Okay, S.; Erkilic, G. E.; Dundar, E.; Hernandez, P.; Dorado, G.; Unver, T. 2013. Nutrition metabolism plays an important role in the alternate bearing of the olive tree (*Olea europea* L.). (en línea). Plos One. 8(3): 59876. Consultado 6 dic. 2022. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0059876&type=printable>
70. Vaughan, C.; Dessai, S.; Hewitt, C.; Baethgen, W.; Terra, R.; Berterretche, M. 2017. Creating an enabling environment for investment in climate services: The case of Uruguay's National Agricultural Information System. (en línea). Climate Services. 8: 62 - 71. Consultado 2 dic. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.11.001>
71. Vázquez, L. M.; Galán, C.; Domínguez-Vilches, E. 2003. Influence of meteorological parameters on olea pollen concentrations in Córdoba (South-western Spain). International Journal of Biometeorology. 48: 83 - 90.
72. Villalobos, J.; López-Bernal, A. 2017. Clima. In: Barranco, D.; Fernandez-Escobar, R.; Rallo, L. eds. El cultivo del olivo. 7a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 213 - 250.
73. Villamil, J. 2013. Plantación de olivos. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. Aceites de oliva: De la planta al consumidor. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 75 - 89.
74. \_\_\_\_\_; Conde, P. 2013. Variedades. In: Grompone, M. A.; Villamil, J. coords. Aceites de oliva: De la planta al consumidor. Montevideo, Hemisferio Sur. vol. 1, pp. 51 - 74.
75. Villarino, A. G.; Cabrera, C. B. 2011. Efecto del momento de cosecha en la calidad del aceite de oliva de la variedad Arbequina. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 61 p.