

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RELACIONES HÍDRICAS EN DOS CLONES DE EUCALYPTUS EN  
SISTEMA SILVOPASTORILES**

**por**

**Gonzalo Sebastián PALLAS RODRÍGUEZ**  
**Mateo VIANA ACHE**

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

**MONTEVIDEO**  
**URUGUAY**  
**2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia  
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**”.



**Página de aprobación**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

---

Ing. Agr. (Dr.) Jaime González

Codirector:

---

Ing. Agr. (Mag.) Carolina Munka

Tribunal:

---

Ing. Agr. (Mag.) Carolina Munka

---

Ing. Agr. (Dra.) Mercedes Arias

---

Ing. Agr. (Dra.) Vivian Severino

Fecha:

1 de setiembre de 2025

Estudiante:

---

Gonzalo Sebastián Pallas Rodríguez

---

Mateo Viana Ache

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a quienes hicieron posible el desarrollo de esta investigación. En especial, a Jaime González, Carolina Munka y Gina Dogliotti, por su constante apoyo, predisposición y acompañamiento durante esta etapa culminante de nuestra formación académica.

Agradecemos también a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, por proporcionarnos una base sólida de conocimientos y herramientas para nuestro crecimiento profesional. Hacemos un reconocimiento especial al Departamento Forestal, por su colaboración en la logística y por brindarnos los recursos necesarios para la realización de este estudio.

Finalmente, a nuestras familias y amistades, cuyo aliento, paciencia y compañía han sido esenciales a lo largo de todo este recorrido en la educación universitaria.

## TABLA DE CONTENIDO

Página de aprobación.....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
LISTA DE FIGURAS Y TABLA.....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo General.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 ¿Qué es la agroforestería?.....	13
3.2 El sistema silvopastoril: definición y características.....	13
3.3 El silvopastoreo en Uruguay .....	13
3.4 Componente arbóreo .....	14
3.4.1 Eucalyptus en Uruguay .....	14
3.4.2 Eucalyptus dunnii Maiden .....	15
3.4.3 Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden .....	16
3.5. Reproducción Clonal.....	17
3.6 Parámetros Fisiológicos.....	17
3.6.1 Intercepción radiación .....	17
3.6.2 Potencial hídrico.....	17
3.6.3 Conductancia estomática .....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
4.1 Zona de estudio y período de análisis .....	20
4.2 Suelo.....	20

4.3	Clima.....	21
4.4	Detalles sobre los experimentos.....	21
4.5	Desarrollo del experimento.....	22
4.6	Procedimiento de las mediciones.....	22
4.6.1	Potencial Hídrico.....	22
4.6.2	Conductancia estomática.....	23
4.6.3	DAP y altura total.....	23
4.6.4	Descripción del análisis estadístico.....	23
5.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	25
5.1	Altura y DAP.....	26
5.2	Porcentaje copa viva.....	30
5.3	Potencial hídrico base.....	31
5.4	Potencial hídrico xilemático.....	34
5.5	Conductancia estomática.....	36
6.	CONCLUSIÓN.....	39
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
8.	ANEXOS.....	47

## LISTA DE FIGURAS Y TABLA

Figura 1. Distribución natural <i>E. dunnii</i> Maiden .....	15
Figura 2. Distribución natural <i>E. Grandis</i> .....	16
Figura 3. Imagen satelital ampliada del ensayo de clones .....	20
Figura 4. Evolución de la temperatura media y precipitaciones (2023-2024), comparando con el promedio histórico (1991-2020).....	25
Figura 5. Comparación de la altura de los árboles según el tipo de arreglo, orientación y especie .....	26
Figura 6. Comparación de DAP de los árboles según el tipo de arreglo, orientación y especie.....	26
Figura 7. Comparación de Altura y DAP de los árboles según tipo de arreglo, orientación y especie.....	28
Figura 8. Correlación altura(m) y DAP (cm) <i>E. Dunnii</i> .....	28
Figura 9. Correlación altura(m) y DAP (cm) <i>E. grandis</i> .....	29
Figura 10. Porcentaje de copa viva en función de la Especie y Arreglo. ....	30
Figura 11. Potencial hídrico base en función de la estación.....	31
Figura 12. Potencial hídrico base promedio en función de la orientación. ....	33
Figura 13. Potencial hídrico xilemático en función de la estación.....	34
Figura 14. Potencial hídrico xilemático según bloque.....	34
Figura 15. Conductancia estomática en función de la especie y la estación.....	36
Figura 16. Conductancia estomática en función de la especie y el arreglo .....	36
Tabla 1. Potencial hídrico base ( $\Psi_b$ , MPa) de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus dunnii</i> , según bloque experimental.....	32

## RESUMEN

El presente estudio analiza el comportamiento hídrico de dos especies forestales de interés, en un sistema silvopastoril en callejones con filas orientadas N-S, con diferentes arreglos espaciales de plantación. Se evaluaron clones de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* dispuestos en una fila simple y en filas triples. En estos últimos, se consideraron tres exposiciones de copa viva dentro de cada arreglo: externo este (EE), interno (I) y externo oeste (EO), con el objetivo de caracterizar las variaciones fisiológicas y su respuesta a las condiciones ambientales del sistema.

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (Cerro Largo, Uruguay) entre febrero y agosto de 2024. Se analizaron las variables fisiológicas potencial hídrico base y xilemático, conductancia estomática, dasométricas de altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y porcentaje de copa viva. Las mediciones se realizaron en invierno y verano del 2024 para relacionar la influencia de las condiciones hídricas en el comportamiento eco-fisiológico de los clones.

*E. grandis* presentó una altura promedio de 4,84 metros y un DAP de 5,08 centímetros, representando 1,20 metros y 1,5 centímetros más que *E. dunnii* respectivamente, especialmente en los árboles ubicados en la posición este e interna de la fila triple. A su vez, el porcentaje de copa viva de *E. dunnii* fue 10-15 % mayor que el *E. grandis*, debido a su menor tendencia a la mortalidad de ramas basales. En términos de potencial hídrico, ambas especies mostraron valores similares, aunque la posición EE evidenció menor potencial hídrico, al estar más expuesta a la radiación solar y a los vientos predominantes, influye significativamente en el aumento de la demanda de agua por transpiración.

La conductancia estomática fue  $228 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en *E. grandis*, especialmente en invierno, reflejando una mayor capacidad de intercambio gaseoso en condiciones favorables de humedad. *E. dunnii* fue  $161,23 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  mostrando una estrategia más conservadora en el uso del agua, lo que podría ser beneficioso en condiciones de baja disponibilidad de agua. Además, los resultados indican que el diseño de triple fila presentó un mejor rendimiento general, maximizando el crecimiento y la eficiencia en el uso de recursos.

Este estudio aporta información relevante para el manejo de sistemas silvopastoriles con *Eucalyptus spp*, proporcionando herramientas para mejorar la productividad y sostenibilidad de las plantaciones silvopastoriles a través de comprender la influencia sobre el crecimiento y fisiología del componente forestal.

*Palabras clave:* *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, relaciones hídricas

## ABSTRACT

This study analyzes the water behavior of two forest species of interest in a silvopastoral alley cropping system with tree rows oriented north–south and different spatial planting arrangements. Clones of *Eucalyptus dunnii* and *E. grandis* were evaluated, arranged in single rows and triple rows. In the triple row system, three crown exposure positions were considered: east external (EE), internal (I), and west external (EO), with the objective of characterizing physiological variations and their responses to the environmental conditions of the system.

The study was carried out at the Bernardo Rosengurtt Experimental Station (Cerro Largo, Uruguay) between February and August 2024. The physiological variables analyzed included predawn and xylem water potential, stomatal conductance, and the dendrometric parameters of height, diameter at breast height (DBH), and percentage of live crown. Measurements were taken in both winter and summer of 2024 to assess the influence of water availability on the ecophysiological performance of the clones.

*E. grandis* showed an average height of 4.84 meters and a DBH of 5.08 centimeters, which were 1.20 meters and 1.5 centimeters greater, respectively, than *E. dunnii*, particularly in trees located in the east and internal positions of the triple row. Meanwhile, *E. dunnii* exhibited a 10–15% higher percentage of live crown than *E. grandis*, due to its lower tendency for basal branch mortality. In terms of water potential, both species showed similar values, although the EE position had lower water potential due to greater exposure to solar radiation and prevailing winds, which significantly increased transpiration demand.

Stomatal conductance was  $228 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in *E. grandis*, especially during winter, reflecting a greater capacity for gas exchange under favorable moisture conditions. *E. dunnii* showed a more conservative water-use strategy with a conductance of  $161.23 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , which could be advantageous under limited water availability. In addition, results indicated that the triple-row design showed better overall performance, maximizing growth and resource-use efficiency.

This study provides relevant information for the management of silvopastoral systems with *Eucalyptus* spp., offering tools to improve productivity and sustainability by understanding how growth and physiology of the forest component are influenced.

*Keywords: Eucalyptus grandis, Eucalyptus dunnii, water relations*

## **1. INTRODUCCIÓN**

La investigación sobre el comportamiento de diferentes clones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en distintos arreglos espaciales responde a la necesidad de optimizar la producción forestal, maximizando la eficiencia del uso de los recursos y minimizando los impactos ambientales. El sector forestal es de gran relevancia tanto a nivel global como local, contribuyendo a la producción de madera, papel y otros subproductos industriales, así como a la captura de carbono y la preservación de ecosistemas. En este contexto, el manejo adecuado de plantaciones forestales, que incluye la gestión eficiente de los recursos hídricos, resulta fundamental para satisfacer la demanda creciente de productos forestales de manera sustentable.

En Uruguay, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* son las especies más utilizadas dentro de las plantaciones forestales, representando aproximadamente el 31,6 % y 28 % respectivamente, sobre un total de 1.161.851 hectáreas efectivamente destinadas al uso forestal (Dirección General Forestal [DGF], 2025). Su incorporación en distintos arreglos espaciales dentro de sistemas silvopastoriles obedece a la necesidad de comprender las interacciones entre los componentes vegetales, con el fin de favorecer la complementariedad productiva y lograr una mayor integración entre la producción forestal y ganadera (Boscana et al., 2023).

Los sistemas silvopastoriles han sido reportados como alternativa de producción sostenible. El éxito de este tipo de uso del suelo se basa en las interacciones entre los componentes, donde la complementariedad en el uso de los recursos y la facilitación superan la competencia, redundando en una producción física superior. En este sentido, la elección de la especie leñosas utilizadas y su arreglo de plantación juegan un rol preponderante en definir las interacciones entre los componentes vegetales en el uso de los recursos.

Las relaciones hídricas, que incluyen la disponibilidad de agua en el suelo, la absorción por parte de las plantas y la transpiración, son cruciales para el crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus*. Estas especies dependen de un manejo eficiente del agua, especialmente en zonas donde el estrés hídrico puede limitar su desarrollo. En SSP el agua es un recurso por el cual compiten y se complementan el componente forestal y herbáceo. El arreglo, no solo afecta la disponibilidad para el crecimiento de c/u de estos componentes, sino que también puede reducir la demanda a la que está expuesta la pastura, debido a modificación de las variables ambientales de la evapotranspiración. Comprender cómo influyen las condiciones hídricas en el comportamiento de las dos especies forestales más plantadas del país, bajo distintos

arreglos espaciales, es clave para mejorar la productividad y sostenibilidad de las plantaciones forestales.

La investigación se sustenta en la necesidad de explorar arreglos forestales innovadores que promuevan interacciones beneficiosas entre clones, posiciones dentro de la plantación y el manejo adecuado de los recursos hídricos, contribuyendo a un sistema de silvopastoreo más eficiente. Los resultados obtenidos podrían contribuir a mejorar las prácticas de manejo, aumentar la productividad y favorecer un uso más eficiente de los recursos disponibles, incluidos los hídricos. Así, se espera que este estudio brinde una base científica sólida para la toma de decisiones en la gestión de sistemas forestales con *Eucalyptus*, aportando al desarrollo sustentable del sector forestal.

En síntesis, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en diferentes arreglos espaciales y posiciones dentro de la plantación, proporcionando información relevante para el manejo forestal, con especial énfasis en las relaciones hídricas. Se busca aportar recomendaciones que contribuyan a mejorar la productividad y la sostenibilidad de las plantaciones comerciales de *Eucalyptus*, atendiendo a las exigencias actuales del sector y las necesidades de conservación del medio ambiente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Evaluar las condiciones hídricas del componente forestal y su respuesta fisiológica al arreglo espacial de fila simple y triple filas en las dos especies forestales plantadas.

### 2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las condiciones hídricas (potencial hídrico) de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en función de las variaciones estacionales y el arreglo de plantación.
2. Evaluar el crecimiento en altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y el porcentaje de copa viva en clones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*, analizando la influencia del diseño de plantación (fila simple y triple fila) y la orientación (posiciones externas e internas) sobre el desarrollo estructural del dosel.
3. Analizar las relaciones hídricas y la dinámica de la conductancia estomática del dosel en clones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*, en función del diseño de plantación y las condiciones ambientales.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ¿Qué es la agroforestería?

La agroforestería se define en este trabajo como un sistema de uso de la tierra que integra deliberadamente árboles con cultivos agrícolas y/o ganadería en el mismo espacio o en secuencia temporal, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del suelo y promover beneficios productivos y ambientales (Fassbender, 1993; Nair, 1985). Esta integración busca aprovechar las sinergias entre los componentes del sistema, mejorando la fertilidad del suelo, la conservación del agua, la biodiversidad y el secuestro de carbono, entre otros servicios ecosistémicos (Brown et al., 2018).

En términos funcionales, los sistemas agroforestales pueden clasificarse según su estructura (combinación de árboles, cultivos y animales), su función (productiva o conservacionista), su temporalidad (simultánea o secuencial) y el nivel de intensidad de manejo (tradicional o moderno) (Nair, 1993). Esta diversidad estructural y funcional convierte a la agroforestería en una estrategia de manejo flexible, adaptable a distintas condiciones agroecológicas y tipos de productores.

#### 3.2 El sistema silvopastoril: definición y características

El sistema silvopastoril es una modalidad específica dentro de la agroforestería. Esta combina árboles, pasturas y animales en un mismo espacio y tiempo de forma intencional y a largo plazo (Sancho, 2021). Esta integración tiene como objetivo principal maximizar la productividad del sistema a través de la complementariedad de sus componentes, logrando un uso más eficiente de los recursos naturales y promoviendo la sostenibilidad.

Desde una perspectiva conceptual, diversos autores coinciden en que el silvopastoreo implica una relación sinérgica entre los árboles y el componente ganadero. En ese sentido, los árboles no solo proveen productos como madera o frutos, sino que también ofrecen servicios al sistema, como sombra, protección contra el viento, abrigo para los animales, y mejoras microclimáticas (Boscana et al., 2020; Torres et al., 1995).

#### 3.3 El silvopastoreo en Uruguay

En Uruguay, el desarrollo del silvopastoreo ha estado impulsado por la necesidad de integrar la producción ganadera y forestal de forma sostenible. A diferencia de las plantaciones forestales tradicionales orientadas a la producción de madera, los sistemas silvopastoriles buscan compatibilizar ambos rubros, permitiendo que los árboles coexistan con el pastoreo animal (Oyhantçabal, 2006).

Los sistemas silvopastoriles en Uruguay se distribuyen en tres zonas: sureste (5.066,25 ha), centro-sur (976,34 ha) y norte (349,98 ha), totalizando 6.394 ha; en la zona sur-sureste predomina *Eucalyptus globulus*, mientras que en la zona norte lo hace *Eucalyptus grandis* (Sancho, 2021). Estos sistemas se integran con pasturas naturales o mejoradas y con ganadería de cría o ciclo completo. Este enfoque no solo permite diversificar la producción, sino que también mejora la resiliencia del sistema ante condiciones climáticas adversas, al incrementar la humedad y reducir la amplitud térmica del aire y del suelo, favoreciendo así el crecimiento del sotobosque y el bienestar animal (Fedrigo et al., 2018).

Desde el punto de vista político-institucional, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) ha promovido prácticas silvopastoriles a través de programas de extensión y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad (Boscana et al., 2020). Estas iniciativas reconocen que la combinación adecuada de árboles, pasturas y animales puede contribuir significativamente a los objetivos de desarrollo rural, conservación ambiental y productividad.

### 3.4 Componente arbóreo

En los sistemas silvopastoriles, el componente arbóreo cumple funciones clave tanto en lo productivo como en lo ambiental: aporta madera, sombra, protección para el ganado y mejora del suelo, siendo esencial para la sostenibilidad del sistema (Fedrigo et al., 2018). En Uruguay, el género *Eucalyptus* se ha consolidado como una opción estratégica en este tipo de sistemas por su rápido crecimiento, adaptabilidad y valor comercial (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2022).

#### 3.4.1 Eucalyptus en Uruguay

Las primeras plantaciones de eucaliptos en Uruguay comenzaron a principios del siglo XX como parte de proyectos de reforestación. Las especies utilizadas mostraron su capacidad de adaptación a diferentes suelos y climas. Estas plantaciones se expandieron significativamente en las décadas de 1990 y 2000, favorecidas por políticas de fomento forestal del gobierno, centradas principalmente en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus*. Estas especies son valoradas por su madera destinada a pulpa, aserrío y producción de energía (DGF, 2024).

En Uruguay, las plantaciones forestales comerciales están dominadas por especies del género *Eucalyptus*, principalmente *E. grandis* y *E. dunnii*. *E. grandis* se utiliza tanto para la producción de pulpa de celulosa como para madera sólida (aserrado), mientras que *E. dunnii* se destina principalmente a la producción de celulosa,

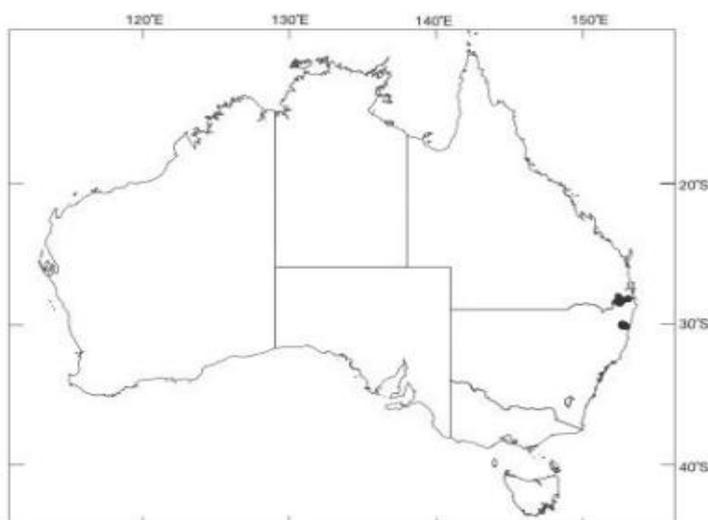
destacándose por su buena productividad en suelos de fertilidad media a baja y condiciones edáficas variables (Rizzo-Martín et al., 2023).

### 3.4.2 Eucalyptus dunnii Maiden

Esta especie es originaria de una pequeña área del centro-este de Australia (31°S). Se encuentra principalmente en zonas continentales, a altitudes de 300 a 750 m.s.n.m. En estas zonas predomina el clima templado, con temperaturas máximas de 27-30 °C y mínimas de 0-3 °C, registrando hasta 60 heladas al año. Las precipitaciones estivales varían entre 1.000 y 1.750 mm anuales (Boland et al., 2006). La especie *Eucalyptus dunnii* Maiden prefiere suelos fértiles con buena retención de agua y aireación, pero es sensible al mal drenaje (Boland et al., 1980; Kelly et al., 1983).

#### **Figura 1**

*Distribución natural E. dunnii* Maiden



*Nota.* Tomado de Boland et al. (2006).

Sus principales características morfológicas son su corteza lisa, hojas juveniles ovaladas o elípticas, y hojas intermedias que pueden alcanzar hasta 30 cm. Sus flores crecen en inflorescencias axilares simples y sus frutos hemisféricos presentan valvas prominentes. Puede llegar a medir hasta 50 m de altura y 1,5 m de diámetro, aunque en ocasiones alcanza diámetros de 2,5 m (Boland et al., 2006).

Según el Anuario Estadístico Agropecuario (DIEA, 2022), el *Eucalyptus dunnii* es la segunda especie más plantada en Uruguay, con más de 216 mil hectáreas mayores a tres años, representando más del 25 % de la superficie forestal total. Su importancia sigue en aumento, siendo la especie con mayor expansión en 2021, al representar el 42 % de las nuevas plantaciones. Este eucalipto se adapta bien a zonas bajas debido a su tolerancia a las heladas. Aunque su producción de semillas es baja,

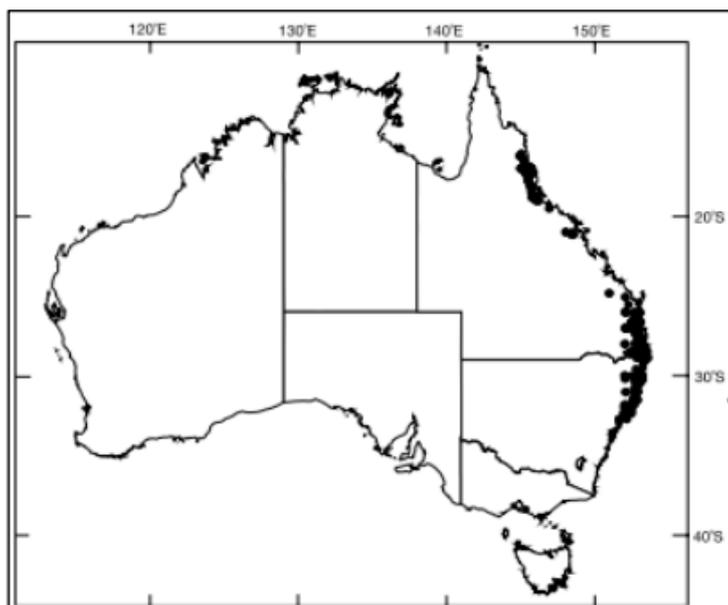
la propagación mediante esquejes ha facilitado su cultivo, contribuyendo al incremento de su área plantada.

### 3.4.3 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

El *Eucalyptus grandis* se encuentra naturalmente en el este de Australia, en áreas distintas del norte y centro, tanto costeras como continentales, a altitudes entre 0 y 1.100 m.s.n.m., dependiendo de la latitud. Se desarrolla en climas que van desde templados en el sur, con máximas de 24-30 °C y mínimas de 3-8 °C, hasta tropicales en el norte, con máximas de 29-32 °C y mínimas de 10-17 °C. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1.000 y 3.500 mm. Este entorno resulta húmedo y con pocas heladas en zonas alejadas de la costa (Boland et al., 1980; Hall et al., 1963). Esta especie prefiere suelos profundos, limosos, bien drenados y con buena capacidad de retención de agua (Boland et al., 1980; Kelly et al., 1983).

#### Figura 2

*Distribución natural E. Grandis*



*Nota.* Tomado de Boland et al. (2006).

Brussa (1994) lo considera uno de los cultivos más usados en forestaciones comerciales por su rápido crecimiento, aunque esta característica se reduce en suelos poco desarrollados o con mal drenaje. Las plántulas y plantas jóvenes son sensibles a las heladas intensas.

En 2021, el *E. grandis* ocupó 251 mil hectáreas con plantaciones de más de tres años, representando el 30 % de la superficie forestal total (DIEA, 2022).

### 3.5. Reproducción Clonal

La reproducción clonal en *Eucalyptus spp.*, especialmente en híbridos de *Eucalyptus grandis*, se ha consolidado como una estrategia clave para potenciar el rendimiento forestal. Este método permite replicar individuos superiores, preservando tanto la variación genética aditiva como la no aditiva, y logrando una mayor uniformidad y consistencia en características productivas y adaptativas (Trujillo, 2005).

Desde el punto de vista genético, esta técnica supera a la reproducción sexual, ya que evita la recombinación aleatoria y permite una transmisión más precisa del valor genético completo del individuo seleccionado. Además, al promover una población homogénea, facilita el manejo silvícola, optimiza la eficiencia en la cosecha y mejora la planificación del turno forestal (Benatti et al., 2025).

En Uruguay, durante el año 2018, se produjo un total aproximado de 90,4 millones de plantines de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*. Del total, *E. dunnii* representó el 46,4 % y *E. grandis* el 31,6 %. En cuanto al tipo de propagación, *E. grandis* fue producido mayoritariamente por clonación (68,2 %) y un 31,8 % por semilla. En contraste, *E. dunnii* fue propagado principalmente por semilla (69,2 %), y solo el 30,8 % mediante clonación (Boscana & Boragno, 2019).

### 3.6 Parámetros Fisiológicos

#### 3.6.1 Intercepción radiación

La intercepción de la radiación solar es un proceso clave en el crecimiento y la productividad de las plantas, ya que la radiación fotosintéticamente activa (RFA) es la fuente de energía primaria para la fotosíntesis (Larcher, 2003). La eficiencia de intercepción de la radiación solar por las plantas está relacionada con el índice de área foliar (IAF), el cual determina la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (fAPAR). Sin embargo, al alcanzar un IAF elevado, la intercepción de radiación tiende a estabilizarse, mostrando cambios mínimos en productividad (De la Casa et al., 2007). Además, factores como la arquitectura de la planta, la orientación de las hojas y las condiciones ambientales influyen en este proceso, siendo crucial optimizar el diseño del dosel para maximizar la intercepción en cultivos agrícolas (Ross, 1981).

#### 3.6.2 Potencial hídrico

El potencial hídrico es una medida del estado energético del agua en las plantas o en el suelo, expresada en megapascales (MPa), y permite entender el transporte de

agua desde las raíces hasta las hojas y su pérdida por transpiración (Nión Perdomo, 2022; Taiz & Zeiger, 2010). Esta variable es central en estudios ecofisiológicos, ya que refleja el grado de estrés hídrico al que están sometidas las plantas, así como su capacidad de adaptación.

Frente al estrés hídrico, las especies vegetales adoptan distintas estrategias de regulación. Una de las más comunes es el cierre estomático, mecanismo que reduce la transpiración, pero también limita el ingreso de CO<sub>2</sub>, afectando la fotosíntesis. Sin embargo, esta respuesta no es igual en todas las especies, lo que ha llevado a distinguir dos comportamientos fisiológicos: el isohídrico y el anisohídrico (White et al., 2000).

Las especies isohídricas, como *Eucalyptus grandis*, regulan fuertemente su potencial hídrico mediante el cierre temprano de los estomas, evitando caídas drásticas en el contenido hídrico de sus tejidos (Gándara et al., 2025). Esto les permite mantener un estado hídrico relativamente estable durante el día, pero puede limitar su productividad si la apertura estomática se restringe por periodos prolongados. Por el contrario, las especies anisohídricas permiten una mayor variación en su potencial hídrico, manteniendo abiertos los estomas incluso bajo condiciones de estrés, lo que les otorga ventaja en términos de captación de carbono, aunque con un mayor riesgo de deshidratación (Gándara et al., 2025).

En el caso de los Eucalyptus, se ha registrado una amplia gama de valores de potencial hídrico. White et al. (2000) reportan que *Eucalyptus globulus* puede alcanzar valores de hasta -2.2 MPa bajo condiciones de campo. Esta tolerancia está vinculada a mecanismos fisiológicos adicionales como el ajuste osmótico, la eficiencia del sistema radicular y la modificación de la arquitectura foliar (Kupper et al., 2006).

Desde el punto de vista del manejo forestal, comprender estas diferencias fisiológicas es clave para el diseño de sistemas silvopastoriles (SSP). En estos sistemas, la competencia por agua entre árboles y pasturas puede ser intensa, por lo que la elección de especies o clones con comportamiento isohídrico puede favorecer una menor extracción de agua en momentos críticos, protegiendo el componente herbáceo. Por otro lado, en ambientes donde el recurso hídrico es abundante o bien manejado, especies con comportamiento anisohídrico podrían aportar mayor productividad forestal sin comprometer la sustentabilidad del sistema, en línea con las estrategias hidráulicas descritas por McDowell et al. (2008).

### 3.6.3 Conductancia estomática

La conductancia estomática es un parámetro clave en la fisiología vegetal, ya que regula el intercambio gaseoso entre la hoja y la atmósfera. Este proceso controla la entrada de CO<sub>2</sub>, fundamental para la fotosíntesis, y la salida de vapor de agua,

relacionada con la transpiración (Oliveros Díaz & Caicedo Vera, 2023). A través del ajuste de la apertura estomática, las plantas pueden adaptarse dinámicamente a su entorno, maximizando la eficiencia del uso del agua sin comprometer la absorción de carbono.

Frente a condiciones de estrés abiótico, como déficit hídrico, las plantas tienden a reducir la apertura estomática para limitar la pérdida de agua. Este cierre parcial o total de los estomas representa una de las primeras respuestas fisiológicas al estrés, mediada por señales internas como el ácido abscísico, el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ) (Oliveros Díaz & Caicedo Vera, 2023). Sin embargo, esta estrategia tiene un costo: también se restringe la captación de  $\text{CO}_2$ , lo que puede limitar la fotosíntesis y el crecimiento de la planta.

Las respuestas en la conductancia estomática varían entre especies de *Eucalyptus spp.*, lo que sugiere diferencias en su estrategia de adaptación al ambiente. Algunas especies, como *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis*, pueden alcanzar valores de  $g_s$  de hasta 500 y 600  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mientras que *Eucalyptus camaldulensis* supera incluso los 700  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en condiciones sin restricciones hídricas (Whitehead & Beadle, 2004). Esta variabilidad responde a diferencias en la densidad estomática, la sensibilidad a señales internas y la capacidad de ajuste fisiológico.

Por otra parte, la radiación solar también determina cambios en la apertura estomática, ya que influye en la temperatura foliar y la demanda evaporativa. En condiciones de alta radiación, temperaturas elevadas o escasez de agua, la conductancia estomática tiende a disminuir para evitar la pérdida excesiva de agua. Este ajuste refleja un mecanismo adaptativo frente a factores ambientales limitantes, como señalan Kupper et al. (2006) y Oliveros et al. (2009). En ausencia de restricciones hídricas, en cambio, se observa una mayor apertura estomática, favoreciendo el intercambio gaseoso y la fotosíntesis.

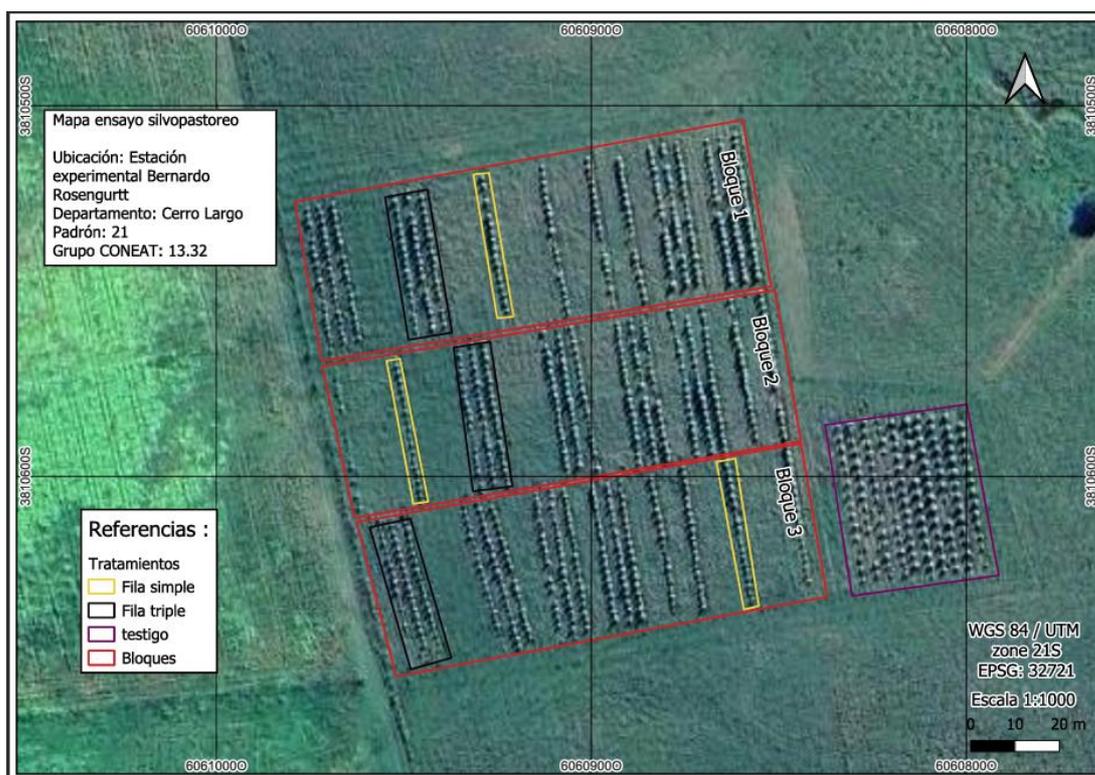
## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Zona de estudio y período de análisis

En este caso presentamos el estudio realizado entre febrero y agosto de 2024 en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR) de la Facultad de Agronomía, ubicada en la localidad de Bañado Medina, departamento de Cerro Largo, Uruguay. Coordenadas 32°21 '26.67 "S, 54°26' 30.61"O (WGS84).

### Figura 3

*Imagen satelital ampliada del ensayo de clones*



*Nota.* Se señalan en rojo los bloques experimentales; en amarillo, los arreglos correspondientes a la modalidad de fila simple; en negro, los arreglos con disposición en triple fila. El recuadro violeta identifica un arreglo testigo presente en el sitio, el cual no fue considerado en el análisis de la presente investigación. Elaborado en base a Sutton et al. (2023).

### 4.2 Suelo

El estudio se desarrolló en suelos pertenecientes a la unidad Zapallar, Grupo suelos Coneat 13.32 (Dirección General de Recursos Naturales, 2020). Esta unidad se caracteriza por la presencia de Luvisoles melánicos álvicos (AR H) como suelos dominantes, los cuales poseen un horizonte superficial oscuro y una acumulación

significativa de arcilla en el subsuelo, que favorece la retención de agua y nutrientes. Estos suelos están asociados con Luvisoles úmbricos álvicos, que presentan características similares, pero con un contenido mayor de materia orgánica en el horizonte superficial. Ambos tipos de suelos son aptos para sistemas forestales debido a su capacidad para sustentar especies de rápido crecimiento, como los clones de *Eucalyptus*, proporcionando una base adecuada para investigaciones relacionadas con su adaptación y rendimiento (Delgado et al., 2006).

#### 4.3 Clima

El clima de Uruguay, y particularmente el del noreste del país —donde se localizan la ciudad de Melo y la zona de Bañados de Medina (departamento de Cerro Largo)—, se clasifica según el sistema de Köppen-Geiger como Cfa: clima templado húmedo, sin estación seca y con veranos calurosos. Esta clasificación se caracteriza por precipitaciones relativamente constantes a lo largo del año y veranos con temperaturas medias elevadas, condiciones que influyen directamente sobre la productividad de los sistemas silvopastoriles establecidos en la región. De acuerdo con datos de la estación meteorológica del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.), en Melo la temperatura media anual es de 17,8 °C, con una máxima media de 30,2 °C en enero y una mínima media de 6,1 °C en julio. La precipitación anual promedio es de 1236 mm, con un coeficiente de variación del 21,6 %.

Con el objetivo de caracterizar climáticamente la región de estudio, se consultaron datos del INUMET. Se recopilaron registros históricos correspondientes al período 1991–2020, así como datos específicos de los años 2023 (previo al inicio del monitoreo) y 2024 (año de realización de las mediciones). Las variables consideradas incluyeron temperatura media anual y mensual, así como los totales de precipitación mensual y anual.

#### 4.4 Detalles sobre los experimentos

El ensayo se estableció en octubre 2022, utilizando un diseño en bloques completos al azar con parcelas divididas. La parcela principal correspondió al arreglo espacial y la subparcela a la especie. Se definieron tres bloques experimentales, asegurando que la orientación de las filas de árboles fuera de sur a norte para minimizar el efecto de la sombra sobre los callejones.

Cada bloque incluyó una repetición del marco de plantación y clones de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*, evaluados bajo dos sistemas de plantación:

simple y triple fila, con callejones de 14 m. La distancia entre plantas en la fila fue de 1,75 m y entre hileras de triple fila de 1,5 m.

El diseño permitió evaluar el efecto del sistema de plantación sobre el crecimiento y la productividad de los árboles.

#### 4.5 Desarrollo del experimento

Se desarrolló la selección y marcación de los árboles que serían sometidos a las mediciones, eligiendo al azar aquellos con un solo fuste, recto y con un dosel representativo de la especie en ese bloque, descartando los bifurcados o de desarrollo limitado.

Se evaluaron, por bloque:

- En fila simple: 2 árboles de cada especie, elegidos al azar (4 en total).
- En triple fila: 2 árboles de cada especie por posición (externo este – EE, interno – I y externo oeste – EO), es decir, 6 árboles de cada especie (12 en total).

De este modo, por bloque se midieron 16 árboles y, en todo el experimento, 48 árboles en total.

Las mediciones se llevaron a cabo en dos estaciones del año (07/02/2024 Verano y 15/08/2024 Invierno), y en dos momentos del día: antes del amanecer y al mediodía, cuando la radiación solar es máxima.

#### 4.6 Procedimiento de las mediciones

##### 4.6.1 Potencial Hídrico

Para medir el potencial hídrico base y el potencial hídrico xilemático se utilizó una Bomba de *Scholander* modelo 1505D-EXP PMS INSTRUMENTS, que aplica gas a presión en una cámara sellada donde se coloca una hoja; cuando la presión alcanza un nivel crítico, la savia emerge del xilema y se observa en el extremo del pecíolo.

El potencial hídrico base se midió en la madrugada, seleccionando hojas sanas y recién cortadas directamente del árbol. Se utilizaron dos hojas por árbol para mejorar la precisión de las mediciones.

Por su parte, el potencial hídrico xilemático se determinó alrededor del mediodía. En este caso, las hojas seleccionadas se envolvieron 30 minutos antes de la medición en papel aluminio y bolsas *Ziploc*, con el fin de evitar la fotosíntesis y permitir que el potencial hídrico de la hoja se equilibrara con el del xilema del árbol.

#### 4.6.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática se midió con un porómetro (LI-600 SC-1, Licor) al mediodía, cuando la radiación solar es más intensa, para evaluar si la planta mantiene una buena conductancia o si, por el contrario, los estomas están cerrados debido a factores como temperatura elevada, estrés térmico o déficit hídrico. Este parámetro es importante porque influye directamente en la fotosíntesis, al regular la entrada de CO<sub>2</sub> y la salida de vapor de agua a través de las hojas. Antes de realizar las mediciones, el porómetro fue calibrado. Posteriormente, se midieron dos hojas por árbol, seleccionando aquellas que estuvieran sanas, de tamaño adecuado y ubicadas a una altura aproximada al pecho del operador.

#### 4.6.3 DAP y altura total

El diámetro a la altura del pecho (DAP) se midió a 1,30 m del suelo utilizando una cinta diamétrica, asegurando que estuviera nivelada y ajustada firmemente alrededor del tronco. En árboles con irregularidades en la base, se realizaron mediciones en distintos puntos para obtener un valor representativo del DAP.

La altura total de los árboles se registró empleando una mira topográfica telescópica, utilizando como criterio uniforme la medición desde la base del fuste hasta el ápice visible del dosel. Para minimizar posibles errores, todas las mediciones fueron realizadas por el mismo operador.

Se llevaron a cabo dos instancias de medición: una en otoño, el 7 de junio de 2024, y otra en invierno, el 15 de agosto de 2024. Los datos obtenidos fueron organizados en una base de datos y posteriormente analizados para comparar el crecimiento en los distintos arreglos evaluados.

#### 4.6.4 Descripción del análisis estadístico

Los datos recabados en el estudio se analizaron en el programa *infostat* el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el cual se observaron las diferencias en p valor (0.05) por tukey.

Modelo experimental correspondiente al diseño de bloques al azar:

$$Y_{ijklm}: \mu + B_i + A_j + (B * A)_{ij} + E_k(A_j) + (A * E)_{jk} + TI(E_k(A_j)) + \varepsilon_{ijklm}$$

Siendo:

$Y_{ijklm}$ : variable de interés;

$\mu$ : media general;

B: bloque;

A: arreglo;

E: especie;

T: árbol dentro de la Especie y el Arreglo.

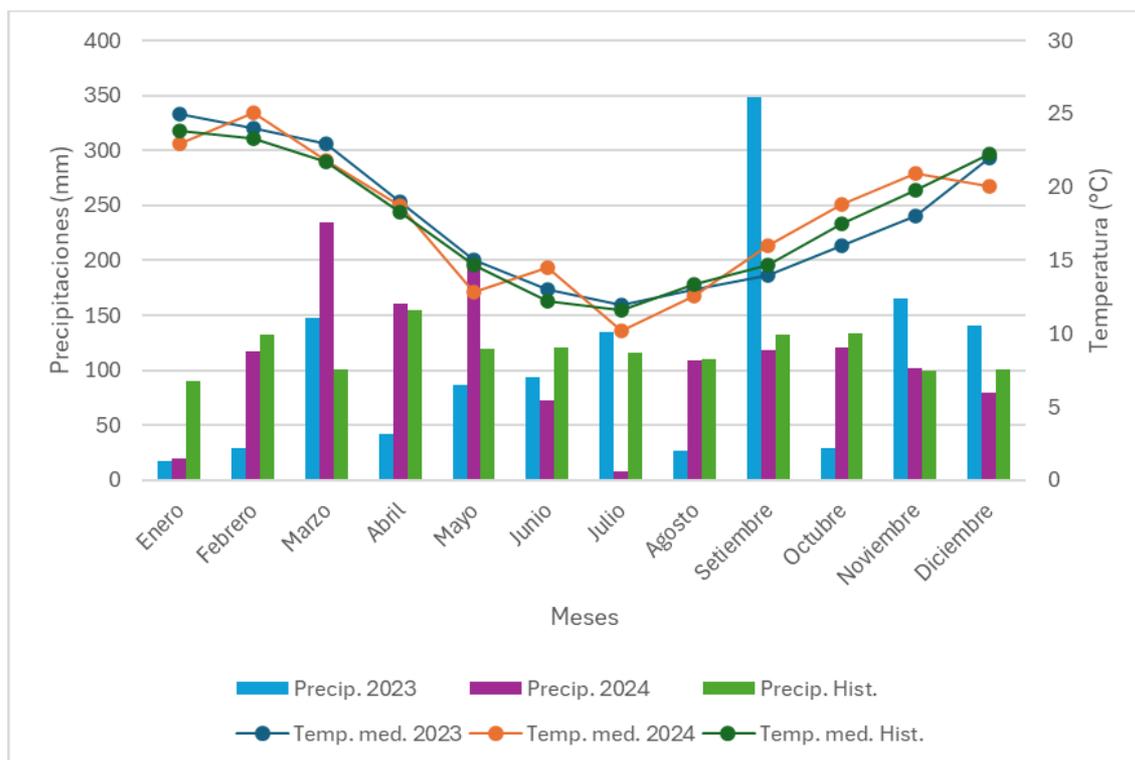
Para la comprensión de los datos cada vez que se nombra el arreglo de la plantación esta comprende el conjunto de orientación (Externo Este (EE), Interno (I), Externo Oeste (EO) y el diseño de la fila (Simple/ Triple).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a lo largo del estudio, junto con su correspondiente análisis y discusión. Esta sección busca brindar una mirada integrada a los datos recolectados, considerando tanto las particularidades observadas en el ensayo como su posible interpretación en el contexto del conocimiento existente.

### Figura 4

*Evolución de la temperatura media y precipitaciones (2023-2024), comparando con el promedio histórico (1991-2020)*



*Nota.* Elaborado con base en INUMET (s.f.).

La temperatura media anual (ver ANEXO G) en Melo fue de 17,8 °C en 2023 y de 17,9 °C en 2024, valores muy próximos al promedio histórico de 17,8 °C registrado para el período 1991–2020. Se observa que, en general, los meses de verano (enero–marzo) presentaron temperaturas superiores al promedio histórico, mientras que los meses invernales (junio–agosto) mostraron valores similares o levemente inferiores.

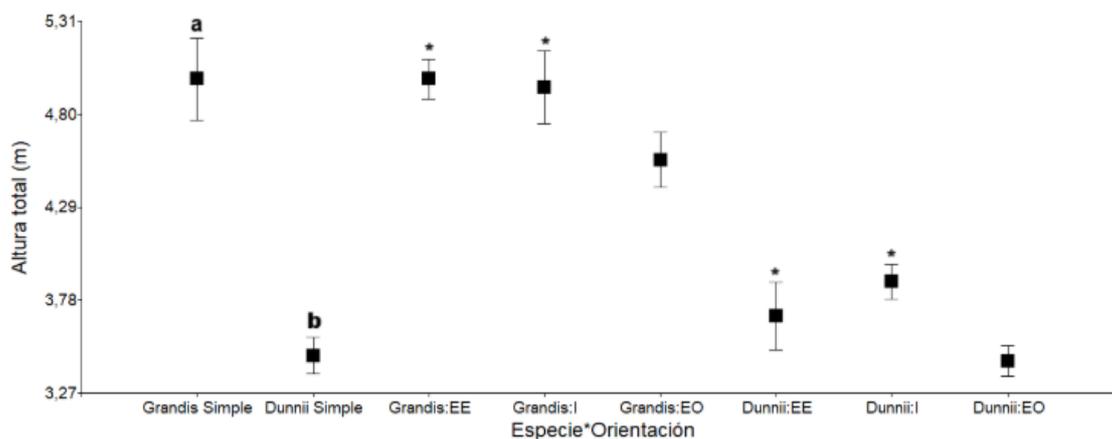
Durante 2023 se acumuló un total de 1262,6 mm de precipitación (ver ANEXO H), mientras que en 2024 se registraron 1340,2 mm, ambos valores por debajo del promedio histórico anual de 1414 mm. Se destacan variaciones importantes entre meses: en 2023, septiembre presentó una anomalía positiva significativa con 348,2 mm frente a los 133 mm históricos, mientras que enero y febrero registraron precipitaciones muy por debajo de lo esperado. En 2024, las lluvias fueron más regulares, con picos en abril y mayo.

Las mediciones fisiológicas se realizaron en dos momentos contrastantes del año: febrero y agosto. En febrero, durante los días de evaluación, se registró una ola de calor (2–9/2), con temperaturas máximas de hasta 41 °C y anomalías térmicas entre +3 y +10,6 °C respecto a lo histórico, acompañadas de un marcado déficit hídrico, con niveles de agua en el suelo entre 20–30%. En contraste, en agosto las condiciones fueron más favorables, con temperaturas máximas de hasta 24,5 °C (anomalías de +1,4 a +3,8 °C) y una muy buena disponibilidad de agua en el suelo (80–100%).

### 5.1 Altura y DAP

#### Figura 5

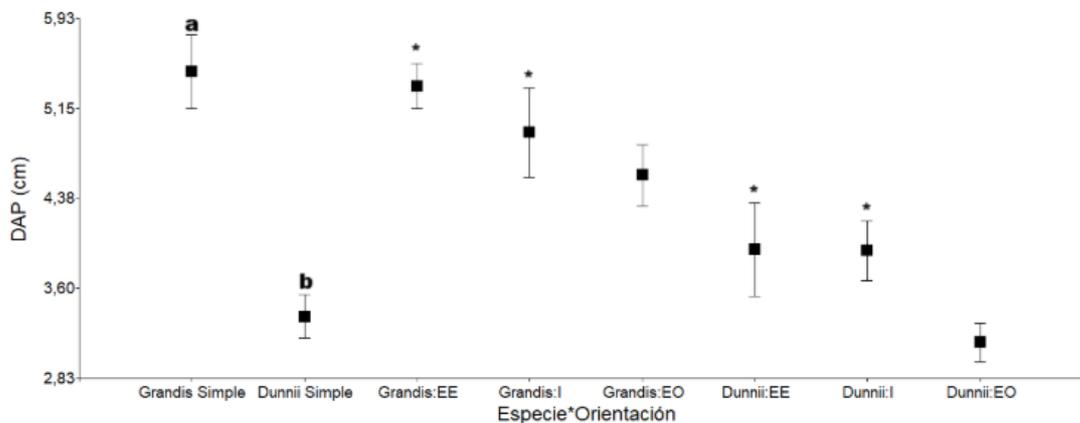
Comparación de la altura de los árboles según el tipo de arreglo, orientación y especie



Nota. Letras (a y b) indican diferencias significativas entre especies con ( $p < 0,05$ ), con \* se indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre arreglos.

## Figura 6

Comparación de DAP de los árboles según el tipo de arreglo, orientación y especie



*Nota.* Letras (a y b) indican diferencias significativas entre especies con ( $p < 0,05$ ), con asterisco se indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre arreglos. Fila simple (Simple), Triple fila externo este (EE), interno (I), externo oeste (EO).

Dados estos resultados, se observaron diferencias entre las especies *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*, siendo la primera de mayor crecimiento. En el diseño de triple fila (Figuras 5 y 6), se evidenció que las posiciones externas este (EE) e internas (I) favorecieron los mayores crecimientos en altura y DAP para ambos clones. En el *E. grandis*, los árboles ubicados en EE registraron una media de 4,90 m (H) y 5,34 cm (DAP), respectivamente, mientras que en la posición interna (I) alcanzaron 4,95 m (H) y 4,94 cm (DAP). Para el *E. dunnii*, los árboles en EE presentaron valores de 3,80 m (H) y 3,93 cm (DAP), y en la posición interna (I) alcanzaron 3,86 m (H) y 3,93 cm (DAP).

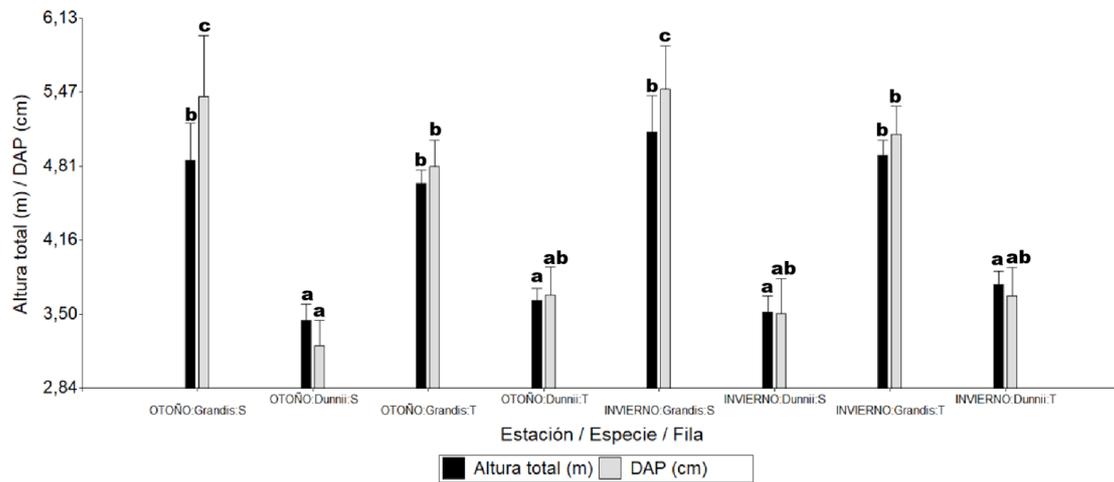
Estos resultados indican que el *E. dunnii* mostró una mayor sensibilidad a las variaciones microambientales, especialmente en posiciones externas. En este sentido, Villalba (2018) señala que la competencia por recursos como luz y agua es determinante en el desarrollo de las especies forestales, y las posiciones externas pueden enfrentar mayores niveles de radiación solar y vientos predominantes, lo que podría limitar su crecimiento.

Las diferencias observadas entre los clones y los arreglos resaltan la importancia de adaptar los diseños de plantación a las características del sitio para maximizar la productividad forestal. Estudios previos, como el de Gómez-Tejero et al. (2009), han demostrado que una planificación adecuada, que considere tanto las características intrínsecas del clon como las condiciones locales, es esencial para optimizar el rendimiento. En este contexto, los resultados destacan el potencial de *E. grandis* como

una opción más robusta y adaptable en diversos entornos, mientras que *E. dunnii* podría requerir manejos específicos para minimizar el impacto de restricciones hídricas.

### Figura 7

Comparación de Altura y DAP de los árboles según tipo de arreglo, orientación y especie

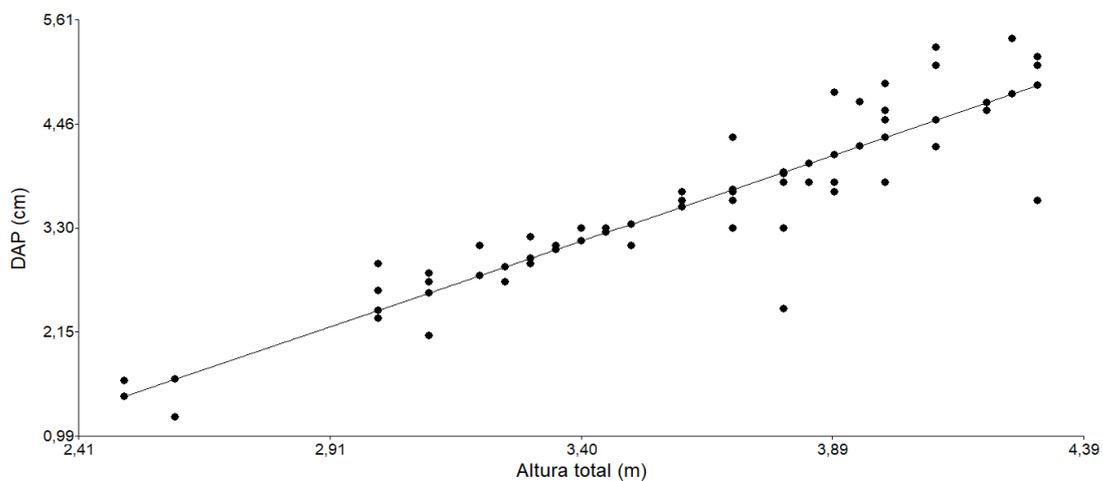


Nota. Letras distintas indican diferencias significativas entre especies con ( $p < 0,05$ ) Fila simple (S), Triple fila (T)

El aumento en el crecimiento tanto en *E. grandis* como *E. dunnii* se dio de igual manera para altura y DAP, esto explicado por las figuras 7 y 8.

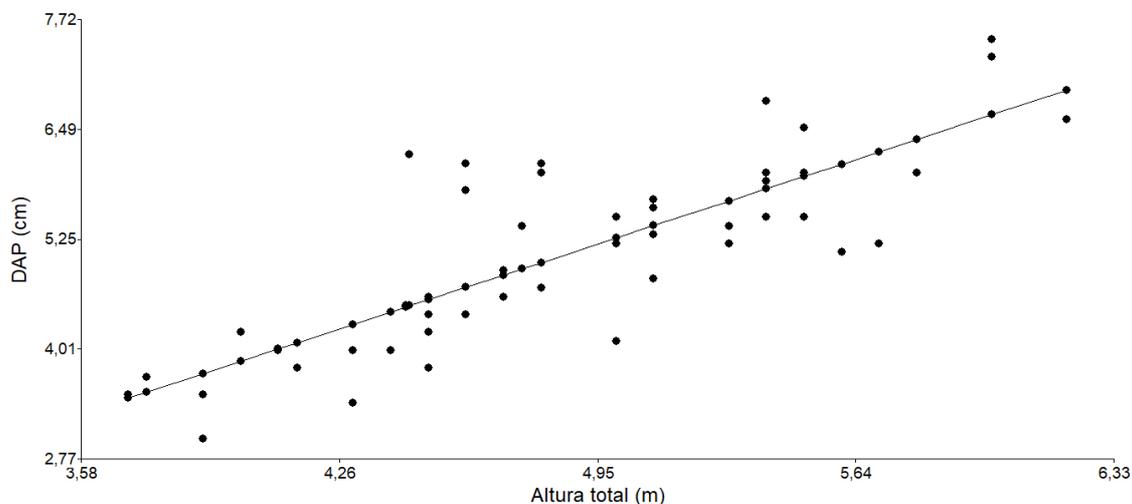
### Figura 8

Correlación altura(m) y DAP (cm) *E. Dunnii*



**Figura 9**

Correlación altura(m) y DAP (cm) *E. grandis*



En los experimentos realizados, no se observaron diferencias significativas entre la fila simple y la triple fila. Sin embargo, se confirmó que *Eucalyptus grandis* presentó un crecimiento superior al de *Eucalyptus dunnii*.

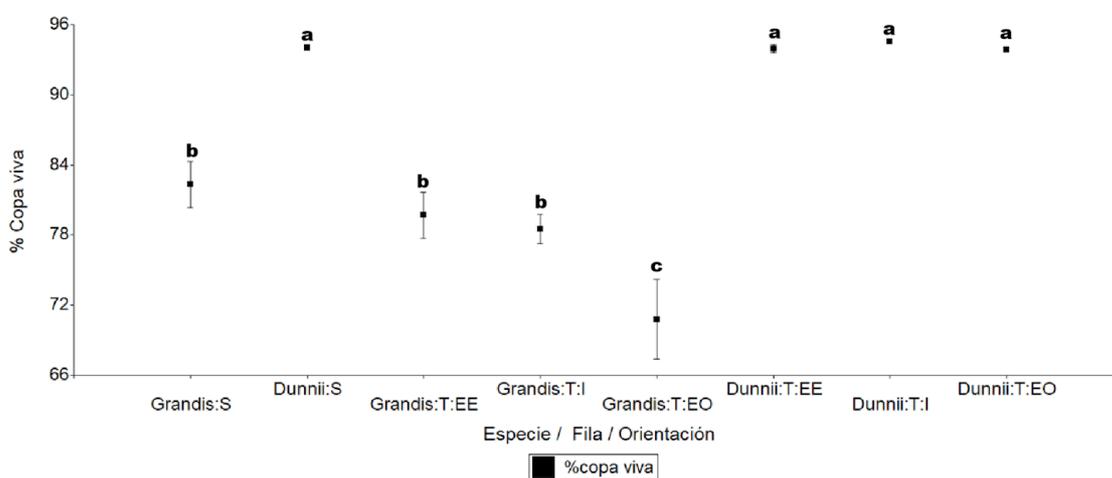
Los resultados de este estudio coinciden con hallazgos previos sobre el crecimiento de especies de *Eucalyptus* en Uruguay. En este sentido, el estudio realizado por Fusco Lorient et al. (2022) señala que el *Eucalyptus grandis* muestra un rendimiento superior en crecimiento en comparación con el *Eucalyptus dunnii*, lo que sugiere que esta última especie presenta una menor tasa de desarrollo en las condiciones evaluadas. Esto podría atribuirse a la mayor adaptación del *E. grandis* a las características del suelo y clima locales, favoreciendo su crecimiento.

Según el informe "Evaluación de especies de *Eucalyptus* al quinto año" del INIA (Balmelli & Resquin, 2006), *Eucalyptus grandis* es una de las especies de mayor productividad en las plantaciones comerciales del país, debido a su mejor adaptación a los suelos y condiciones climáticas locales.

## 5.2 Porcentaje copa viva

**Figura 10**

Porcentaje de copa viva en función de la Especie y Arreglo



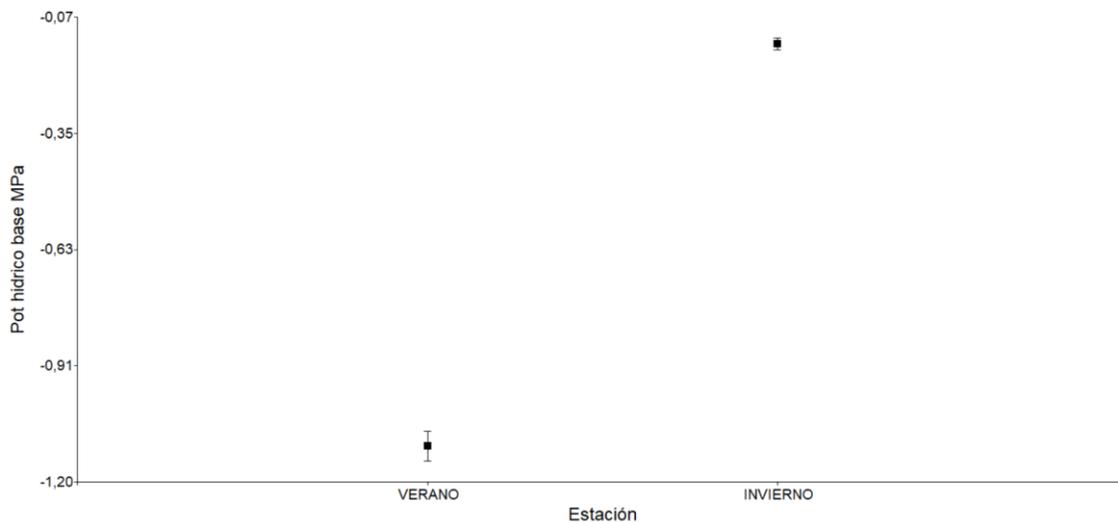
*Nota.* Letras distintas indican diferencias significativas con ( $p < 0,05$ ); Fila simple (S), Fila triple (T), externo este (EE), externo oeste (EO), interno (I).

En esta comparación (Figura 10) se observó que el *Eucalyptus dunnyi* presentó mayor porcentaje de copa viva que *Eucalyptus grandis*. Esta diferencia puede atribuirse al desrame natural característico de *Eucalyptus grandis*. Esta especie tiende a desprenderse de sus ramas inferiores a medida que crece, lo que reduce la proporción de copa viva en comparación con *Eucalyptus dunnyi*, que mantiene una copa más densa y compacta. En esta línea, Nutto et al. (2006), resalta que el *Eucalyptus grandis* experimenta una recesión dinámica de la base de la copa, lo que implica una reducción natural de las ramas inferiores conforme aumenta el diámetro del tronco y la altura total del árbol. Este proceso de desrame natural es menos pronunciado en *Eucalyptus dunnyi*, resultando en una mayor proporción de copa viva en esta última especie. En las plantaciones de *Eucalyptus grandis*, los árboles en fila simple, los orientados hacia el este y los internos presentaron un mayor porcentaje de copa viva 82,5%, 81,25 % y 78,75% respectivamente en comparación con aquellos ubicados al oeste los cuales presentaron 71,5%. Esto se debe principalmente a la mayor disponibilidad de luz solar durante las primeras horas del día, cuando las condiciones para la fotosíntesis son más favorables y menos limitadas por el estrés térmico. A su vez, la caracterización de ramas en diferentes clones de eucalipto ha mostrado que la orientación y las prácticas de manejo pueden influir en el desarrollo de la copa, aunque la interacción con otros factores debe ser considerada (Ramos & García, 2022).

### 5.3 Potencial hídrico base

#### Figura 11

Potencial hídrico base en función de la estación



El análisis del potencial hídrico base (Figura 11) en plantaciones de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* mostró diferencias significativas entre estaciones. Durante el verano, el potencial hídrico alcanzó valores promedio de -1,11 MPa, indicando un nivel elevado de estrés hídrico, mientras que, en invierno, el potencial hídrico fue significativamente menos negativo, con un promedio de -0,14 MPa.

No se observaron diferencias significativas en el potencial hídrico base entre las especies analizadas (*Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*) durante las estaciones evaluadas. En verano, *E. dunnii* presentó un promedio de -1,08 MPa, mientras que *E. grandis* registró -1,14 MPa. Durante el invierno, los valores fueron considerablemente menos negativos, con -0,15 MPa para *E. dunnii* y -0,13 MPa para *E. grandis*. Estos resultados sugieren que ambas especies presentan una respuesta fisiológica similar frente a las variaciones estacionales en la disponibilidad de agua, sin diferencias estadísticamente significativas en el potencial hídrico base. Este comportamiento podría estar relacionado con la edad de los árboles, que al momento de la medición tenían aproximadamente un año y medio, etapa en la que ambos clones se encuentran en pleno crecimiento y pueden presentar estrategias fisiológicas similares ante el déficit hídrico.

El impacto del estrés hídrico en el potencial hídrico base no parece diferir significativamente entre el *Eucalyptus dunnii* y el *Eucalyptus grandis*, lo que coincide con estudios previos que destacan que ambas especies comparten características adaptativas similares en condiciones climáticas y edáficas comparables. En este sentido, Resquin et al. (2020) subrayan que el *E. grandis* muestra una dependencia más

marcada de las propiedades del suelo, como la profundidad del horizonte A y el contenido de arcilla, mientras que *E. dunnii* responde de manera más directa a las temperaturas estacionales, particularmente en verano. Estas diferencias no se traducen en variaciones significativas en el manejo hídrico del suelo cuando ambas especies se encuentran bajo condiciones homogéneas, reforzando la idea de una respuesta fisiológica comparable en términos de consumo y disponibilidad de agua. Esto es consistente con observaciones en plantaciones mixtas en Uruguay, donde la dinámica hídrica del suelo se ve influenciada principalmente por factores ambientales y de manejo, más que por diferencias específicas entre especies (Cano et al., 2023).

**Tabla 1**

*Potencial hídrico base ( $\Psi_b$ , MPa) de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*, según bloque experimental*

<b>Especie</b>	<b>Bloque</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Letras</b>
Grandis	1	-0,67	16	0,38	A
Grandis	3	-0,64	16	0,38	A
Dunnii	2	-0,63	16	0,38	A
Grandis	2	-0,62	16	0,38	A
Dunnii	1	-0,62	16	0,38	A
Dunnii	3	-0,57	16	0,38	A

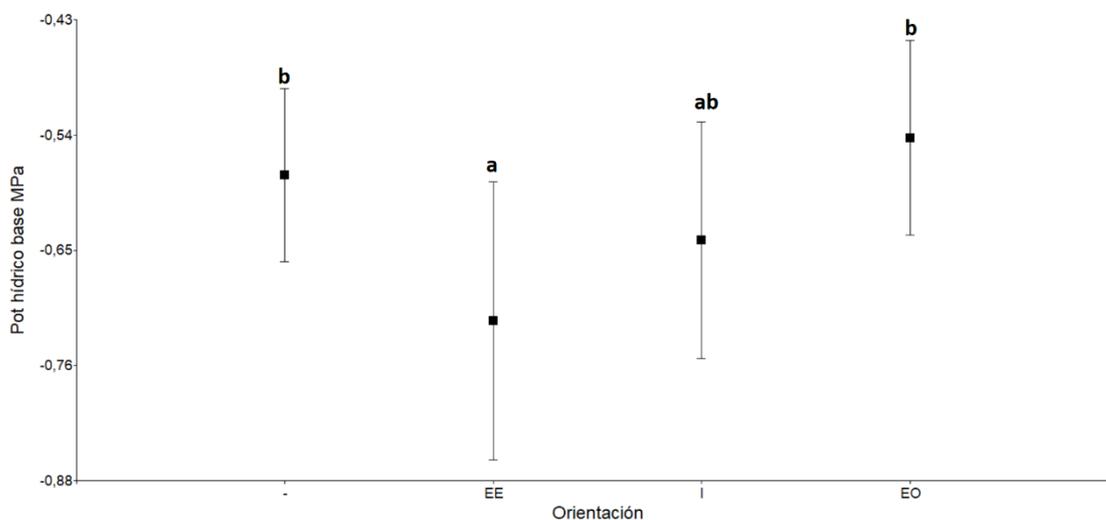
*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los resultados del análisis del potencial hídrico base muestran que no existen diferencias significativas entre los bloques evaluados para las especies *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* ( $p > 0,05$ ), ya que todas las medias comparten la misma letra ("A"). Las medias registradas oscilaron entre -0,67 MPa y -0,57 MPa, sin evidenciar patrones que diferencian significativamente los bloques.

Esta ausencia de diferencias sugiere que las condiciones ambientales y de manejo fueron uniformes en el sitio experimental, proporcionando una distribución homogénea de recursos hídricos y factores microclimáticos. Como resultado, las respuestas fisiológicas de los árboles, medidas a través del potencial hídrico base, permanecieron consistentes entre bloques, sin una variabilidad significativa atribuible a la ubicación dentro del experimento.

**Figura 12**

*Potencial hídrico base promedio en función de la orientación*



*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) (EE) externo este, (EO) externo oeste, (I) interno, (-) fila simple.

En la Figura 12, se observa que el potencial hídrico base promedio varía según la orientación de los árboles en el diseño de triple fila y fila simple. La posición externo este (EE) presentó valores significativamente más negativos en comparación con las posiciones interno (I) y externo oeste (EO), las cuales no mostraron diferencias significativas entre sí ( $p > 0,05$ ). Este resultado indica que los árboles ubicados en EE estuvieron expuestos a un mayor estrés hídrico, lo que se refleja en un potencial hídrico base más negativo.

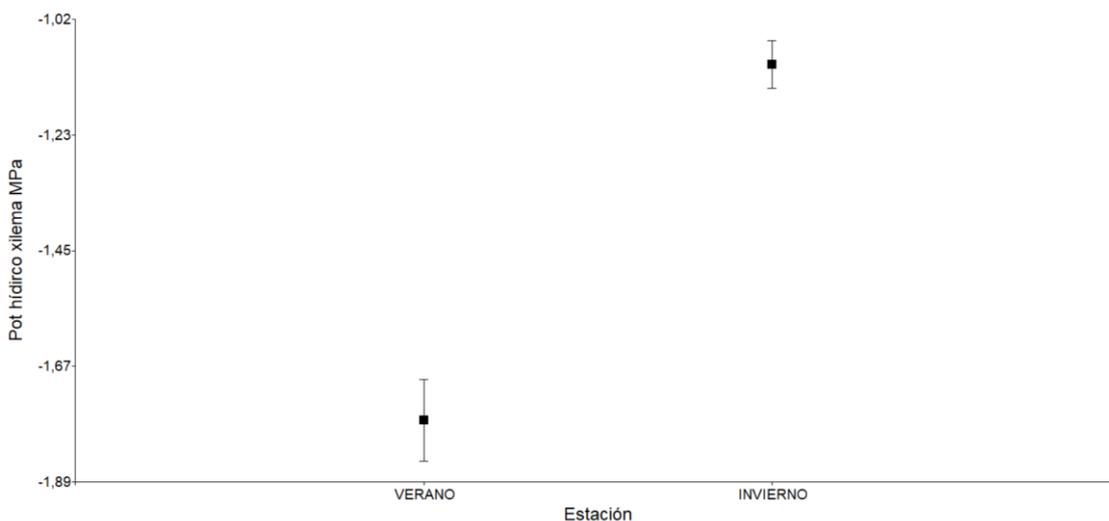
La mayor negatividad del potencial hídrico en la posición EE puede explicarse por su exposición directa a la radiación solar durante las primeras horas del día y la incidencia de vientos predominantes, lo que genera una mayor pérdida de agua por transpiración. Además, esta orientación tiende a recibir menos sombra del resto de los árboles, lo que intensifica el microclima adverso y limita la disponibilidad de humedad en el suelo. En contraste, las posiciones interno (I) y externo oeste (EO) ofrecen condiciones más moderadas, con menor exposición a factores climáticos extremos, lo que resulta en potenciales hídricos menos negativos. Estos resultados coinciden con estudios precedentes que destacan la importancia de la orientación y el microambiente en el balance hídrico de las especies forestales. A modo de ejemplo, Savé et al. (2005) señalan que "la radiación total es básica para el desarrollo de la evapotranspiración, la cual, a su vez, constituye un componente importante en el flujo de agua y de energía de un bosque". Cabe señalar que estas observaciones se basan en mediciones puntuales a nivel de hoja, por lo que sería recomendable complementar el estudio con variables

integradoras, como el índice de área foliar (IAF), que permitan escalar los resultados de la hoja al árbol y al rodal.

#### 5.4 Potencial hídrico xilemático

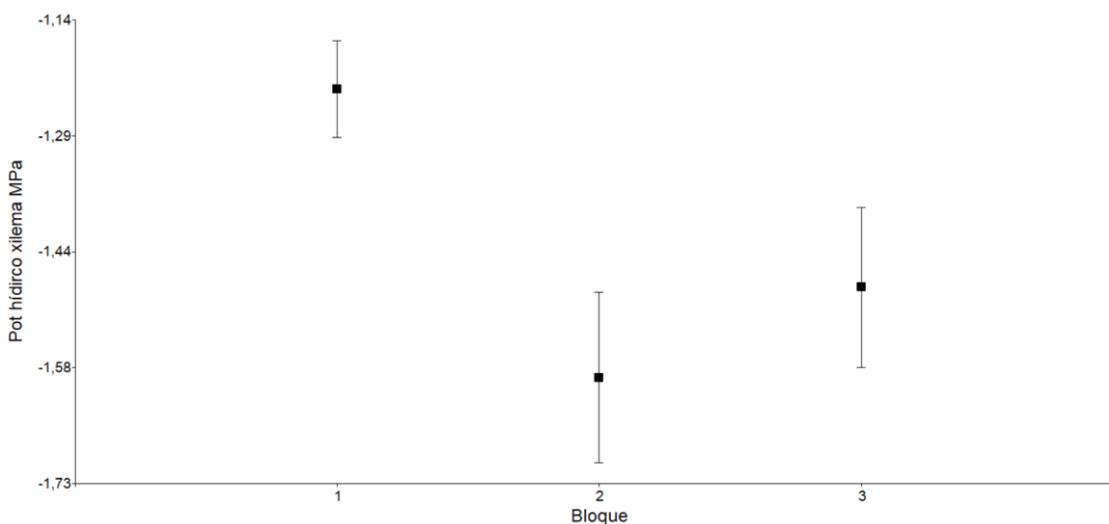
**Figura 13**

*Potencial hídrico xilemático en función de la estación*



**Figura 14**

*Potencial hídrico xilemático según bloque*



La Figura 13 ilustra que el estrés hídrico en las plantas es significativamente mayor en verano comparado con invierno, probablemente debido a factores como mayor temperatura, menor humedad relativa, y mayor demanda evaporativa en verano. Este comportamiento podría explicarse por las tasas más altas de evapotranspiración y las condiciones climáticas propias de cada estación, que afectan la disponibilidad de agua y el comportamiento hídrico de las plantas.

El potencial hídrico (Figura 14) también varió significativamente en función del bloque o arreglo espacial en el campo, lo que refleja la influencia de factores microambientales. Aunque no se presentaron variables de relieve en el ensayo, las diferencias observadas entre los arreglos podrían explicarse por la heterogeneidad del suelo y las interacciones específicas que ocurren en cada bloque. La variabilidad espacial observada puede estar relacionada con características edáficas como la profundidad del horizonte superficial y el contenido de arcilla, factores que Resquin et al. (2020) señalan como determinantes en el comportamiento hídrico de especies como *Eucalyptus*.

El análisis del potencial (ver ANEXO E) hídrico no mostró diferencias significativas entre *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*, independientemente del arreglo experimental. Los promedios obtenidos fueron de -0,146 y -0,147 MPa, respectivamente, lo que sugiere una respuesta fisiológica comparable entre ambas especies bajo las mismas condiciones ambientales y edáficas.

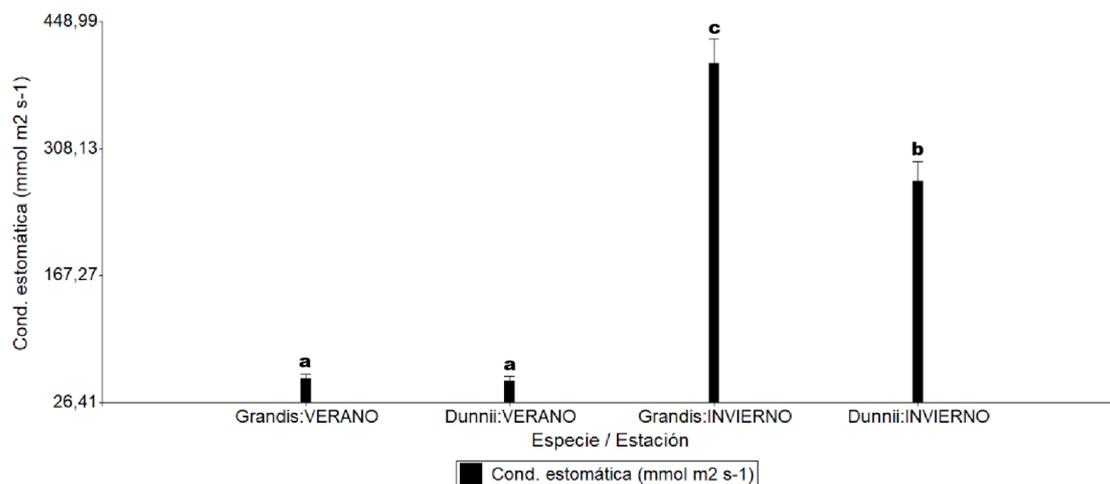
Todas las combinaciones (ver ANEXO E) de especie y orientación mostraron medias con la misma letra (A), lo que indica que no hubo diferencias ( $p > 0,05$ ) en la variable analizada. En consecuencia, se concluye que ni la especie ni la orientación influyeron significativamente en los resultados.

Por último, es relevante considerar la posibilidad de pérdidas de gas en la bomba *Scholander* utilizada para medir la presión de turgencia. Si hubo fugas de gas en el sistema, esto pudo haber comprometido la exactitud de las lecturas del potencial hídrico.

## 5.5 Conductancia estomática

### Figura 15

Conductancia estomática en función de la especie y la estación



*Nota.* Letras distintas indican diferencias significativas con ( $p < 0,05$ ).

La figura 15 muestra que la conductancia estomática es mayor durante el invierno (bajas temperaturas y alta disponibilidad hídrica) en comparación con el verano (altas temperaturas y baja disponibilidad hídrica). En invierno, los valores superan los  $250 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , mientras que en verano no alcanzan los  $50 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Este patrón sugiere que, en condiciones de bajas temperaturas y abundante agua, las plantas de *Eucalyptus* mantienen los estomas más abiertos, lo que favorece el intercambio gaseoso. Este hallazgo coincide con estudios previos que destacan cómo las plantas de *Eucalyptus* ajustan su fisiología en respuesta a condiciones de estrés térmico e hídrico, optimizando el uso del agua. A modo de ejemplo, en un estudio sobre *Eucalyptus globulus*, se observó que la combinación de sequía y altas temperaturas induce respuestas protectoras, incluyendo una regulación estomática adaptativa (Correia et al., 2018). Fernández et al. (2010) también informaron que el *Eucalyptus globulus* posee mecanismos fisiológicos para tolerar cierto grado de sequía, aunque muestra un desempeño óptimo cuando la humedad es adecuada. Por lo tanto, en condiciones de clima moderado y buena disponibilidad de agua, la conductancia estomática tiende a aumentar, lo que favorece tanto la fotosíntesis como el intercambio gaseoso.

En este estudio, los resultados de verano en general no discriminan significativamente entre especies, probablemente debido al déficit hídrico crítico y la ola de calor registrada, que limitaron fuertemente la apertura estomática. Bajo condiciones estivales más moderadas o con déficit hídrico leve, se esperaría que *Eucalyptus grandis*

muestre una mayor expresión de conductancia estomática que *E. dunnii*, reflejando las diferencias fisiológicas típicas entre especies.

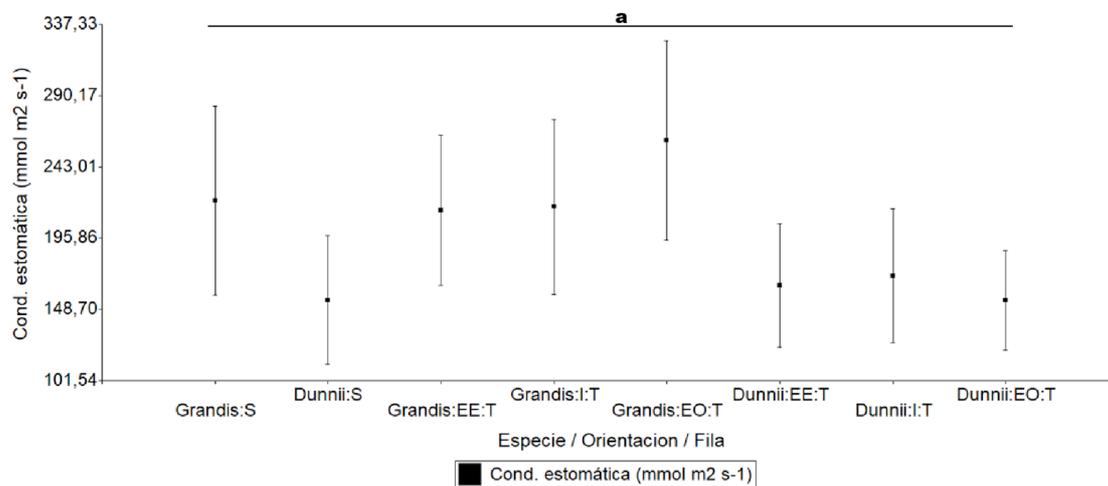
Los resultados también muestran que los clones de *Eucalyptus grandis* presentan una mayor conductancia estomática en invierno en comparación con los clones de *Eucalyptus dunnii*, lo que está relacionado con una mayor disponibilidad hídrica y temperaturas favorables. Los valores del *Eucalyptus grandis* superan los  $420 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , mientras que los del *Eucalyptus dunnii* no superan los  $300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Este patrón sugiere que las especies tienen diferentes estrategias fisiológicas para adaptarse a su entorno.

La conductancia estomática es un parámetro clave que regula el intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera, influyendo directamente en la fotosíntesis y la transpiración. Investigaciones previas han demostrado que el *Eucalyptus grandis* presenta una mayor densidad estomática y una conductancia más alta en comparación con otros híbridos de *Eucalyptus*, lo que le permite mantener una tasa de fotosíntesis elevada bajo condiciones favorables de humedad (Eksteen et al., 2013). Esta característica podría explicar la mayor conductancia estomática observada en los clones de *E. grandis* en este estudio. En cambio, el *Eucalyptus dunnii* parece seguir una estrategia más conservadora en el uso del agua, con menor conductancia estomática y dificultades para abrir los estomas incluso cuando la disponibilidad hídrica es adecuada. Esta adaptación le permite optimizar el uso del agua en ambientes donde la eficiencia es crucial para la supervivencia (Felippe et al., 2020). Esta estrategia conservadora podría explicar la menor conductancia estomática observada en los clones de *E. dunnii*.

Además, bajo temperaturas moderadas a bajas, el *E. grandis* puede mantener una conductancia estomática elevada, lo que optimiza tanto el intercambio gaseoso como la eficiencia fotosintética. Esto le permite aprovechar al máximo las condiciones ambientales favorables, promoviendo un crecimiento más rápido y una mayor productividad (Eksteen et al., 2013). En contraste, el *E. dunnii* podría restringir su conductancia estomática como una medida de conservación de agua, incluso cuando las condiciones no son estresantes.

**Figura 16**

Conductancia estomática en función de la especie y el arreglo



*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). (EE) externo este, (EO) externo oeste, (I) interno, (S) fila simple, (T) triple fila.

La Figura 16 muestra los valores promedio de conductancia estomática ( $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) para los clones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en los diferentes arreglos evaluados: fila simple, fila triple en las posiciones de externo este (EE), interno (I) y externo oeste (EO). Se observa que los clones de *E. grandis* presentan valores significativamente mayores de conductancia estomática que los de *E. dunnii*, independientemente del arreglo o la orientación espacial. Las diferencias dentro de una misma especie según el arreglo no fueron estadísticamente significativas. Los mayores valores promedio de conductancia se registraron para los clones de *E. grandis* en la posición interna del arreglo de fila triple, alcanzando  $337,33 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ , mientras que los clones de *E. dunnii*, en las posiciones externas (EE y EO), mostraron los valores más bajos, cercanos a  $101,54 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ . A pesar de la variabilidad en los promedios, las diferencias dentro de cada especie según el arreglo no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere una respuesta fisiológica homogénea al entorno en cada especie.

## 6. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que el crecimiento de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* de un año y medio de edad varió según el arreglo de plantación, la posición y las estaciones evaluadas. En general, *E. grandis* presentó mayor crecimiento en altura y DAP que *E. dunnii*, especialmente en las posiciones externas este (EE) e internas (I) en el diseño de triple fila. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la mayor adaptabilidad de *E. grandis* en Uruguay, mientras que *E. dunnii* mostró mayor sensibilidad a las variaciones micro ambientales, especialmente en las posiciones externas.

En cuanto al porcentaje de copa viva, *E. dunnii* mantuvo una copa más densa y compacta, lo que se traduce en una menor tasa de desrame frente al *E. grandis*, que experimenta una recesión dinámica de la base de la copa. Respecto al potencial hídrico base, ambas especies mostraron respuestas similares frente a las variaciones estacionales, aunque se observó mayor estrés hídrico en las posiciones externas este (EE), subrayando la importancia de la orientación en el manejo de plantaciones.

La conductancia estomática fue mayor en el *E. grandis* en invierno, lo que sugiere una mayor eficiencia en el intercambio gaseoso bajo condiciones favorables de humedad, mientras que el *E. dunnii* adoptó una estrategia más conservadora con menor conductancia estomática, lo que podría ser ventajoso en periodos de déficit hídrico.

En cuanto a los arreglos de plantación en *E. grandis* el crecimiento en fila simple (S) fue igual o incluso superior al de las posiciones internas (I) y externas este (EE) en la triple fila (T), lo que indica que este arreglo no es necesariamente inferior en términos de crecimiento. En el *E. dunnii*, en cambio, el crecimiento en fila simple (S) fue menor en comparación con las posiciones internas (I) y externas este (EE) en la triple fila (T), lo que sugiere que el diseño en triple fila pudo haber generado condiciones más favorables para *E. dunnii*, mejorando su crecimiento respecto al arreglo en fila simple.

El diseño de triple fila (T) mostró en general un mejor rendimiento en ambas especies, especialmente en las posiciones externas este (EE) e internas (I), mientras que la posición externa oeste (EO) presentó un menor crecimiento.

Un aspecto que merece ser profundizado en futuros estudios es la integración entre el potencial hídrico, la conductancia estomática y la fotosíntesis, considerando su efecto conjunto sobre el crecimiento. En este trabajo se caracterizaron de manera independiente estas variables, pero la interrelación entre ellas constituye un eje central para comprender la dinámica ecofisiológica de los clones evaluados. La disponibilidad de agua en el suelo condiciona directamente el potencial hídrico, que a su vez regula la apertura estomática y, por ende, el intercambio gaseoso. Este proceso define la

capacidad fotosintética y, en última instancia, el ritmo de crecimiento de los árboles. Explorar estas relaciones de forma integrada, incorporando mediciones de asimilación de carbono y eficiencia en el uso del agua, permitiría una comprensión más completa de las estrategias hídricas de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en sistemas silvopastoriles. Además, el análisis de estas interacciones a lo largo de un mayor número de estaciones y bajo distintos niveles de competencia podría aportar información clave para el diseño y manejo de arreglos de plantación más productivos y resilientes.

Una posible hipótesis a verificar en futuros estudios es que los árboles ubicados en la posición externo oeste (EO) presentan un mayor potencial hídrico base y menor crecimiento porque utilizan menos agua. Esta menor extracción podría deberse a estrategias fisiológicas conservadoras, inducidas por condiciones ambientales más restrictivas en la tarde (déficit de presión de vapor, temperatura e insolación), que limitan la conductancia estomática y la actividad fotosintética.

En resumen, es relevante considerar que los datos analizados corresponden a una fase inicial del desarrollo del sistema, con mediciones realizadas en dos estaciones del año con condiciones climáticas contrastantes. En este estadio, es posible que los efectos del arreglo espacial (fila simple o triple fila) aunque estas diferencias aún no se expresen en su totalidad, es probable que se hagan más marcadas con el tiempo, a medida que aumente la competencia entre los árboles. Esto podría traducirse en diferencias más evidentes en la estructura del dosel. Por esta razón, se sugiere continuar con la evaluación del ensayo en etapas posteriores, a fin de comprender mejor la evolución y el impacto de estas interacciones en el largo plazo

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Balmelli, G., & Resquin, F. (2006). *Evaluación de especies de Eucalyptus al quinto año*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2857/1/111219240807140431.pdf>
- Benatti, T. R., Ferreira, F. M., da Costa, R. M. L., de Moraes, M. L. T., Aguiar, A. M., Dias, D. C., de Matos, J. W., Fernandes, A. C. M., Andrade, M. C., de Siqueira, L., Brum, I. J. B., do Nascimento, A. V., Utsunomiya, Y. T., Garcia, J. F., & Tambarussi, E. V. (2025). Accelerating eucalypt clone selection pipeline via cloned progeny trials and molecular data. *Plant Methods*, 21, Artículo e19. <https://doi.org/10.1186/s13007-025-01342-3>
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., Chippendale, G. M., Hall, N., Hyland, B. P. M., Johnston, R. D., Kleinig, D. A., & Turner, J. D. (2006). *Forest trees in Australia* (5<sup>th</sup> ed.). CSIRO.
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., & Turnbull, J. W. (1980). *Eucalyptus seed*. CSIRO.
- Boscana, M., & Boragno, L. (2019). *Décima octava encuesta de viveros forestales: Año 2018*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/decima-octava-encuesta-viveros-forestales>
- Boscana, M., Bussoni, A., & Bentancur, O. (2023). Wood production and financial return in two silvopastoral systems. *Agrociencia Uruguay*, 27, Artículo e793. <https://doi.org/10.31285/AGRO.27.793>
- Boscana, M., Rachetti, M., Munka, C., González, A., & Bussoni, A. (2020). *Recomendaciones para la integración de forestaciones en predios ganaderos y lecheros familiares*. CNFR; Universidad de la República; +TECNOLOGÍAS. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Recomendaciones%20Integracion%20de%20Forestaciones%20FAGRO-CNFR.pdf>
- Brown, S. E., Miller, D. C., Ordonez, P. J., & Baylis, K. (2018). Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 7, Artículo e24. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0136-0>
- Brussa, C. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.

- Cano, D., Cacciuttolo, C., Custodio, M., & Noretto, M. (2023). Effects of grassland afforestation on water yield in basins of Uruguay: A spatio-temporal analysis of historical trends using remote sensing and field measurements. *Land*, 12(1), Artículo e185. <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/1/185>
- Correia, B., Hancock, R. D., Amaral, J., Gomez-Cadenas, A., Valledor, L., & Pinto, G. (2018). Combined drought and heat activates protective responses in *Eucalyptus globulus* that ameliorate the negative consequences of water deficit. *Frontiers in Plant Science*, 9, Artículo e819. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00819>
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, A., & Martínez, J. (2007). Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*, 67(1), 78-85. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000100010>
- Delgado, S., Alliaume, F., García Préchac, F., & Hernández, J. (2006). Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 95-107.
- Dirección General de Recursos Naturales. (2020). *Descripción de los grupos CO.N.E.A.T. MGAP*. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEAT\\_0.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEAT_0.pdf)
- Dirección General Forestal. (2024). *Resultados de la Cartografía Forestal Nacional 2024*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/Documentos%20compartidos/CARTOGRAFIA%202024/Informe%20de%20resultados%202025.pdf>
- Dirección General Forestal. (2025). *Superficie forestal del Uruguay (bosques plantados): Período 1975–2023*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2025-02/Superficie%20Plantado%20Informe%202024.pdf>
- Eksteen, A. B., Grzeskowiak, V., Jones, N. B., & Pammenter, N. W. (2013). Stomatal characteristics of *Eucalyptus grandis* clonal hybrids in response to water stress. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 75(3), 105-111. [https://www.researchgate.net/publication/261643436\\_Stomatal\\_characteristics\\_of\\_Eucalyptus\\_grandis\\_clonal\\_hybrids\\_in\\_response\\_to\\_water\\_stress](https://www.researchgate.net/publication/261643436_Stomatal_characteristics_of_Eucalyptus_grandis_clonal_hybrids_in_response_to_water_stress)
- Fassbender, H. W. (1993). *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales* (2ª ed.). CATIE; GTZ.

- Fedriego, J. K., Benítez, V., Santa Cruz, R., Posse, J. P., Santiago Barro, R., Hernández, J., Mantero, C., Morales Olmos, V., Silveira, E. D., & Viñoles, C. (2018). Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 54(209), 20-30.  
[http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1688-48092018000100026](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-48092018000100026)
- Felippe, D., Navroski, M. C., Saudade de Aguiar, N., de Oliveira Pereira, M., Moraes, C., & Amaral, M. (2020). Crescimento, sobrevivência e trocas gasosas de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden submetidas a regimes de irrigação e aplicação de hidrogel. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(40), 11-20.  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25042020000100011&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25042020000100011&script=sci_arttext)
- Fernández, M., Tapias, R., & Alesso, P. (2010). Adaptación a la sequía y necesidades hídricas de *Eucalyptus globulus* Labill en Huelva. *Boletín del CIDEU*, (8-9), 31-41. <https://www.researchgate.net/publication/277275293>  
[Adaptacion a la sequia y necesidades hidricas de Eucalyptus globulus Labill en Huelva](https://www.researchgate.net/publication/277275293/figure/fig/1/figure-pdf/Adaptacion_a_la_sequia_y_necesidades_hidricas_de_Eucalyptus_globulus_Labill_en_Huelva)
- Fusco Lorient, A. B., Rodríguez Bruno, F. A., & Rodríguez Raffo, M. V. (2022). *Evaluación de la producción y variables dasométricas relevantes para Eucalyptus grandis, Eucalyptus dunnii y Eucalyptus smithii en Cerro Largo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/40641>
- Gándara, J., Nión, M., González-Tálice, J., Ross, S., Villar, J., & Fernández, M. E. (2025). Similar but unique: Physiological response to drought and growth of pure species and interspecific hybrid clones of *Eucalyptus*. *Trees – Structure and Function*, 39, Artículo e36. <https://doi.org/10.1007/s00468-025-02609-x>
- Gómez-Tejero, J., De los Santos-Posadas, H. M., Fierros-González, A. M., & Valdez-Lazalde, J. R. (2009). Modelos de crecimiento en altura dominante para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 161-169.  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n2/v32n2a12.pdf>
- Hall, N., Johnston, R. D., & Marryatt, R. (1963). *The natural occurrence of eucalypts* (2<sup>nd</sup> ed.). Forestry and Timber Bureau.  
<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5093>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Balance hídrico*.  
<https://www.inumet.gub.uy/clima/agricultura/balance-hidrico>

- Kelly, S., Chippendale, G. M., & Johnston, R. D. (1983). *Eucalypts* (Vol. 1, ed. Rev.). Nelson.
- Kupper, P., Sellin, A., Klimánková, Z., Pokorný, R., & Puértolas J. (2006). Water relations in Norway spruce trees growing at ambient and elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *Biologia Plantarum*, 50(4), 603-609.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups* (4<sup>th</sup> ed.). Springer
- McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D. G., & Yezzer, E. A. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178(4), 719-739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x>
- Nair, P. K. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3(2), 97-128. <https://doi.org/10.1007/BF00122638>
- Nair, P. K. R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers.
- Ni3n Perdomo, M. (2022). *Efecto del d3ficit h3drico en la actividad fotosint3tica y el estado h3drico de clones comerciales de Eucalyptus grandis e h3bridos interespec3ficos* [Tesis de maestr3a, Universidad de la Republica]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/33202>
- Nutto, L., Spathelf, P., & Seling, I. (2006). Management of individual tree diameter growth and implications for pruning for Brazilian *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Floresta*, 36(3), 397-413. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/7519/5380>
- Oficina de Estad3sticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estad3stico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Oliveros, M., Romero, H., & Melgarejo, M. (2009). *Efecto del d3ficit h3drico en dos especies forestales aliso (Alnus acuminata) y cedro de altura (Cedrela montana) durante la fase de vivero* [Tesis de maestr3a]. Universidad Nacional de Colombia.
- Oliveros D3az, M., & Caicedo Vera, J. A. (2023). *La conductancia estom3tica (gs), importancia, funci3n y factores de influencia: Medici3n de la conductancia estom3tica (gs) a trav3s del por3metro de difusi3n estable en diferentes cultivos*. Triada; Cosmoagro S.A. [https://www.researchgate.net/publication/368472454\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_IMPORTANCIA\\_FUNCION\\_Y\\_FACTORES\\_DE\\_INFLUENCIA\\_MEDICION\\_DE\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_A\\_TRAVES\\_DEL\\_POROMETRO\\_DE\\_DIFUSION\\_ESTABLE\\_EN\\_DIFERENTES\\_CULTIVOS\\_COSMOAGRO\\_S\\_A\\_1\\_C](https://www.researchgate.net/publication/368472454_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_IMPORTANCIA_FUNCION_Y_FACTORES_DE_INFLUENCIA_MEDICION_DE_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_A_TRAVES_DEL_POROMETRO_DE_DIFUSION_ESTABLE_EN_DIFERENTES_CULTIVOS_COSMOAGRO_S_A_1_C)

- Oyhantçabal, W. (2006). Sistemas silvopastoriles. *Plan Agropecuario*, (117), 56-60.  
[https://planagro.uy.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R117/R117\\_56.pdf](https://planagro.uy.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R117/R117_56.pdf)
- Ramos, S. O., & García, M. A. (2022). *Caracterización de las ramas de dos clones de eucalipto y su relación con el manejo del rodal* [Contribución]. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Entre Ríos, Argentina.  
[https://www.researchgate.net/publication/385416377\\_CHARACTERIZACION\\_DE\\_LAS\\_RAMAS\\_DE\\_DOS\\_CLONES\\_DE\\_EUCALIPTO\\_Y\\_SU\\_RELACION\\_CON\\_EL\\_MANEJO\\_DEL\\_RODAL](https://www.researchgate.net/publication/385416377_CHARACTERIZACION_DE_LAS_RAMAS_DE_DOS_CLONES_DE_EUCALIPTO_Y_SU_RELACION_CON_EL_MANEJO_DEL_RODAL)
- Resquin, F., Duque-Lazo, J., Acosta-Muñoz, C., Rachid-Casnati, C., Carrasco-Letelier, L., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2020). Modelling current and future potential habitats for plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Eucalyptus dunnii* Maiden in Uruguay. *Forests*, 11(9), Artículo e948.  
<https://doi.org/10.3390/f11090948>
- Rizzo-Martín, I., Hirigoyen-Domínguez, A., Arthus-Bacovich, R., Varo-Martínez, M. Á., & Navarro-Cerrillo, R. (2023). Site index estimation using airborne laser scanner data in *Eucalyptus dunnii* Maiden stands in Uruguay. *Forests*, 14(5), Artículo e933. <https://doi.org/10.3390/f14050933>
- Ross, J. (1981). *The radiation regime and architecture of plant stands*. Dr. W. Junk Publishers.
- Sancho, L. (con Arocena, I., & Ordeig, L.). (2021). *Definición, caracterización y cuantificación del área bajo sistemas silvopastoriles, para el seguimiento de las contribuciones establecidas en la Contribución Determinada a nivel Nacional de Uruguay*. Ministerio de Ambiente; MGAP; GEF; PNUD.  
[https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/noticias/informe\\_final.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/noticias/informe_final.pdf)
- Savé, R., de Herralde, F., & Biel, C. (2005). Aproximación al ciclo del agua en ecosistemas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(3), 497-512. [https://www.researchgate.net/publication/28126679\\_Aproximacion\\_al\\_ciclo\\_del\\_agua\\_en\\_ecosistemas\\_forestales](https://www.researchgate.net/publication/28126679_Aproximacion_al_ciclo_del_agua_en_ecosistemas_forestales)
- Sutton, T., Dassau, O., Sutton, M., Nsibandé, L., & Mthombeni, S. (2023). QGIS (versión 3.28.12) [Software]. QGIS Development Team.  
<https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5<sup>th</sup> ed.). Sinauer Associates.
- Torres, A., Casella, M., Cedrés, A., Munka, C., Pastorini, V., & Posse, J. (1995). *Diagnóstico de sistemas agroforestales del Uruguay*. Universidad de la República. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/33707>

- Trujillo, M. (2005). *Propagación vegetativa de Eucalyptus grandis*. INIA.  
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12881/1/sad-425p1-10.pdf>
- Villalba, J. T. (2018). Efecto de diferentes niveles de interferencia en la fila de plantación en parámetros de crecimiento en *Eucalyptus grandis* en Uruguay. *Scientia Forestalis*, 46(119), 473-482. <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n119.14>
- White, D. A., Turner, N. C., & Galbraith, J. H. (2000). Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology*, 20(17), 1157-1165.  
<https://doi.org/10.1093/treephys/20.17.1157>
- Whitehead, D., & Beadle, C. L. (2004). Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: A review. *Forest Ecology and Management*, 193(1-2), 113-140. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.026>

## 8. ANEXOS

## ANEXO A

Análisis de Varianza para Altura

Tabla A1

Altura total (m)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura total (m)	96	0,64	0,57	12,46

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

Tabla A2

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38,99	15	2,60	9,31	<0,0001
Estacion (Fecha)	0,86	1	0,86	3,10	0,0822
Fila	2,9E-04	1	2,9E-04	1,0E-03	0,9743
Especie	34,43	1	34,43	123,35	<0,0001
Orientacion	2,79	2	1,39	5,00	0,0090
Estacion (Fecha)*Fila	0,01	1	0,01	0,02	0,8842
Estacion (Fecha)*Especie	0,10	1	0,10	0,36	0,5497
Estacion (Fecha)*Orientaci..	5,0E-04	2	2,5E-04	9,0E-04	0,9991
Fila*Especie	0,79	1	0,79	2,84	0,0958
Fila*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Especie*Orientacion	4,2E-04	2	2,1E-04	7,5E-04	0,9992
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	4,1E-03	1	4,1E-03	0,01	0,9035
Estacion (Fecha)*Fila*Orie..	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Especie*O..	2,4E-03	2	1,2E-03	4,3E-03	0,9957
Fila*Especie*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	22,33	80	0,28		
Total	61,32	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

Tabla A3

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,67133

Error: 0,2791 gl: 80

Especie	Orientacion	Medias	n	E.E.
Dunnii	EO	3,42	12	0,15 A
Dunnii	-	3,48	12	0,15 A
Dunnii	EE	3,80	12	0,15 A
Dunnii	I	3,86	12	0,15 A B
Grandis	EO	4,51	12	0,15 B C
Grandis	EE	4,90	12	0,15 C
Grandis	I	4,95	12	0,15 C
Grandis	-	4,99	12	0,15 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A4**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21461

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Estacion (Fecha)</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
OTOÑO	4,14	48	0,08	A
INVIERNO (15/8)	4,33	48	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A5**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,24781

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Fila</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Simple	4,24	24	0,11	A
Triple	4,24	72	0,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A6**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21461

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Especie</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Dunni	3,64	48	0,08	A
Grandis	4,84	48	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A7**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21461

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Estacion (Fecha)</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
OTOÑO	4,14	48	0,08	A
INVIERNO (15/8)	4,33	48	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A8**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21461

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Fila</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Simple	4,24	24	0,11	A
Triple	4,24	72	0,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla A9**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21461

Error: 0,2791 gl: 80

<u>Especie</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Dunnii	3,64	48	0,08	A
Grandis	4,84	48	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO B**

Análisis de Varianza para DAP

**Tabla B1***DAP (cm)*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DAP (cm)	96	0,44	0,34	23,68

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla B2***Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	66,90	15	4,46	4,23	<0,0001
Estacion (Fecha)	0,53	1	0,53	0,50	0,4823
Fila	0,20	1	0,20	0,19	0,6680
Especie	53,55	1	53,55	50,81	<0,0001
Orientacion	7,93	2	3,96	3,76	0,0275
Estacion (Fecha)*Fila	0,01	1	0,01	0,01	0,9407
Estacion (Fecha)*Especie	0,16	1	0,16	0,15	0,6992
Estacion (Fecha)*Orientaci..	0,18	2	0,09	0,08	0,9188
Fila*Especie	3,02	1	3,02	2,87	0,0943
Fila*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Especie*Orientacion	0,67	2	0,34	0,32	0,7285
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	0,29	1	0,29	0,27	0,6029
Estacion (Fecha)*Fila*Orie..	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Especie*O..	0,39	2	0,19	0,18	0,8333
Fila*Especie*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	84,31	80	1,05		
Total	151,22	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla B3***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,41702**Error: 1,0539 gl: 80*

Estacion (Fecha)	Medias	n	E.E.
OTOÑO	4,26	48	0,15 A
INVIERNO (15/8)	4,41	48	0,15 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla B4**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,41702

Error: 1,0539 gl: 80

Especie Medias n E.E.

Dunnii 3,59 48 0,15 A

Grandis 5,08 48 0,15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla B5**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,30451

Error: 1,0539 gl: 80

Especie Orientacion Medias n E.E.

Dunnii EO 3,13 12 0,30 A

Dunnii - 3,36 12 0,30 A B

Dunnii I 3,93 12 0,30 A B C

Dunnii EE 3,93 12 0,30 A B C

Grandis EO 4,58 12 0,30 B C D

Grandis I 4,94 12 0,30 C D

Grandis EE 5,34 12 0,30 D

Grandis - 5,47 12 0,30 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO C**

Análisis de Varianza para % Copa viva

**Tabla C1**

%Copa viva

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%Copa viva	96	0,70	0,64	7,27

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla C2**

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7202,50	15	480,17	12,16	<0,0001
Estacion (Fecha)	100,04	1	100,04	2,53	0,1154
Fila	122,72	1	122,72	3,11	0,0817
Especie	6080,17	1	6080,17	153,96	<0,0001
Orientacion	340,03	2	170,01	4,31	0,0168
Estacion (Fecha)*Fila	15,13	1	15,13	0,38	0,5378
Estacion (Fecha)*Especie	77,04	1	77,04	1,95	0,1664
Estacion (Fecha)*Orientaci..	22,75	2	11,38	0,29	0,7505
Fila*Especie	133,39	1	133,39	3,38	0,0698
Fila*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Especie*Orientacion	278,86	2	139,43	3,53	0,0339
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	17,01	1	17,01	0,43	0,5135
Estacion (Fecha)*Fila*Orie..	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Especie*O..	15,36	2	7,68	0,19	0,8236
Fila*Especie*Orientacion	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Fila*Espe..	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	3159,33	80	39,49		
Total	10361,83	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla C3**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,98546

Error: 39,4917 gl: 80

Especie	Orientacion	Medias	n	E.E.
Grandis	EO	71,50	12	1,81 A
Grandis	I	78,75	12	1,81 A B
Grandis	EE	81,25	12	1,81 B
Grandis	-	82,50	12	1,81 B
Dunnii	EO	94,08	12	1,81 C
Dunnii	-	94,33	12	1,81 C
Dunnii	EE	94,42	12	1,81 C
Dunnii	I	94,83	12	1,81 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO D**

Análisis de Varianza para Potencial hídrico base

**Tabla D1***Pot hídrico base MPa*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pot hídrico base MPa	96	0,89	0,88	29,14

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D2***Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23,02	7	3,29	99,51	<0,0001
Estacion (Fecha)	22,53	1	22,53	681,71	<0,0001
Fila	0,06	1	0,06	1,68	0,1977
Bloque	0,03	2	0,01	0,41	0,6678
Especie	0,04	1	0,04	1,13	0,2900
Orientacion	0,37	2	0,19	5,62	0,0050
Error	2,91	88	0,03		
Total	25,93	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D3***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07374**Error: 0,0330 gl: 88*

Estacion (Fecha)	Medias	n	E.E.
VERANO (7/02/24)	-1,11	48	0,03 A
INVIERNO (15/8)	-0,14	48	0,03 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D4***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08515**Error: 0,0330 gl: 88*

Fila	Medias	n	E.E.
Triple	-0,64	72	0,02 A
Simple	-0,58	24	0,04 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D5**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10834

Error: 0,0330 gl: 88

Bloque	Medias	n	E.E.	
1	-0,64	32	0,03	A
2	-0,63	32	0,03	A
3	-0,60	32	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D6**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07374

Error: 0,0330 gl: 88

Especie	Medias	n	E.E.	
Grandis	-0,64	48	0,03	A
Dunnii	-0,60	48	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla D7**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13743

Error: 0,0330 gl: 88

Orientacion	Medias	n	E.E.	
EE	-0,72	24	0,04	A
I	-0,64	24	0,04	A B
-	-0,58	24	0,04	B
EO	-0,55	24	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO E**

Análisis de Varianza para Potencial hídrico xilemático

**Tabla E1***Pot hídrico xilemático MPa*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pot hídrico xilema MPa	96	0,50	0,46	27,99

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla E2***Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,14	7	2,02	12,52	<0,0001
Estacion (Fecha)	10,70	1	10,70	66,28	<0,0001
Fila	0,13	1	0,13	0,80	0,3739
Bloque	2,29	2	1,14	7,09	0,0014
Especie	0,02	1	0,02	0,11	0,7357
Orientacion	1,01	2	0,50	3,12	0,0489
Error	14,20	88	0,16		
Total	28,35	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla E3***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16297**Error: 0,1614 gl: 88**Especie Medias n E.E.**Dunnii -1,45 48 0,06 A**Grandis -1,42 48 0,06 A**Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla E4***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30372**Error: 0,1614 gl: 88**Orientacion Medias n E.E.**I -1,59 24 0,08 A**EE -1,48 24 0,08 A**- -1,37 24 0,08 A**EO -1,30 24 0,08 A**Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO F**

Análisis de Varianza para Conductancia estomática

**Tabla F1***Conductancia estomática*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Conductancia estomática (m..	96	0,81	0,72	47,25

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F2***Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2298463,10	30	76615,44	9,06	<0,0001
Estacion (Fecha)	1953962,67	1	1953962,67	230,98	<0,0001
Bloque	30 (Ctrl) 2	2	1529,35	0,18	0,8350
Especie	107167,25	1	107167,25	12,67	0,0007
Orientacion	5897,76	3	1965,92	0,23	0,8735
Fila	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Especie	98977,15	1	98977,15	11,70	0,0011
Bloque*Especie	29643,40	2	14821,70	1,75	0,1815
Especie*Orientacion	13501,21	3	4500,40	0,53	0,6619
Especie*Fila	0,00	0	0,00	sd	sd
Orientacion*Fila	0,00	0	0,00	sd	sd
Estacion (Fecha)*Bloque*Es..	24972,02	2	12486,01	1,48	0,2361
Estacion (Fecha)*Bloque*Or..	8124,69	6	1354,11	0,16	0,9863
Estacion (Fecha)*Especie*O..	20439,01	3	6813,00	0,81	0,4954
Estacion (Fecha)*Especie*F..	0,00	0	0,00	sd	sd
Bloque*Especie*Orientacion..	32719,25	6	5453,21	0,64	0,6941
Bloque*Especie*Fila	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	549862,86	65	8459,43		
Total	2848325,96	95			

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F3***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=37,49496**Error: 8459,4287 gl: 65**Estacion (Fecha) Medias n E.E.**VERANO (7/02/24) 51,98 48 14,18 A**INVIERNO (15/8) 337,31 48 14,18 B**Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F4**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=55,15174

Error: 8459,4287 gl: 65

Bloque	Medias	n	E.E.	
1	187,90	32	17,36	A
2	194,33	32	17,36	A
3	201,71	32	17,36	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F5**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=37,49496

Error: 8459,4287 gl: 65

Especie	Medias	n	E.E.	
Dunni	161,23	48	14,18	A
Grandis	228,06	48	14,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F6**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=70,00845

Error: 8459,4287 gl: 65

Orientacion	Medias	n	E.E.	
-	187,80	24	20,05	A
EE	189,33	24	20,05	A
I	193,77	24	20,05	A
EO	207,68	24	20,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F7**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=43,29546

Error: 8459,4287 gl: 65

Fila	Medias	n	E.E.	
Simple	187,80	24	20,05	A
Triple	196,93	72	11,58	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**Tabla F8**

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=70,00845

Error: 8459,4287 gl: 65

Estacion (Fecha)	Especie	Medias	n	E.E.	
VERANO (7/02/24)	Dunnii	50,68	24	20,05	A
VERANO (7/02/24)	Grandis	53,28	24	20,05	A
INVIERNO (15/8)	Dunnii	271,79	24	20,05	B
INVIERNO (15/8)	Grandis	402,83	24	20,05	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Nota. Extraído del programa INFOSTAT (versión 2020).

**ANEXO G****TABLA G1**

*Temperatura media mensual (°C) (2023- 2024) y (1991–2020) de ciudad Melo, Cerro Largo, Uruguay*

<b>Meses</b>	<b>Temp. med. 2023 (°C)</b>	<b>Temp. med. 2024 (°C)</b>	<b>Temp. med. Hist. (°C)</b>
Enero	25	23	23,8
Febrero	24	25,1	23,3
Marzo	23	21,8	21,7
Abril	19	18,7	18,3
Mayo	15	12,8	14,7
Junio	13	14,5	12,2
Julio	12	10,2	11,6
Agosto	13	12,6	13,4
Setiembre	14	16	14,7
Octubre	16	18,8	17,5
Noviembre	18	20,9	19,8
Diciembre	22	20,1	22,3
<b>Promedio</b>	<b>17,8</b>	<b>17,9</b>	<b>17,8</b>

*Nota.* Elaborado con base en Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.).

**Referencia bibliográfica**

Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Balance hídrico*.

<https://www.inumet.gub.uy/clima/agricultura/balance-hidrico>

**ANEXO H****TABLA H1**

*Precipitación mensual acumulada (mm) (2023-2024) y (1991–2020) de ciudad Melo, Cerro Largo, Uruguay*

<b>Meses</b>	<b>Precip. 2023 (mm)</b>	<b>Precip. 2024 (mm)</b>	<b>Precip. Hist. (mm)</b>
Enero	17,5	20,3	90
Febrero	29	117,6	133
Marzo	147,4	234,9	101
Abril	42,4	161,2	155
Mayo	87,1	195,7	120
Junio	94	72,4	121
Julio	135,1	7,7	116
Agosto	26,8	109,5	110
Setiembre	348,2	118,3	133
Octubre	29,2	120,4	134
Noviembre	165,5	102,4	100
Diciembre	140,4	79,8	101
<b>Acumulado anual (mm)</b>	<b>1262,6</b>	<b>1340,2</b>	<b>1414</b>

*Nota.* Elaborado con base en Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.).

**Referencia bibliográfica**

Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Balance hídrico*.

<https://www.inumet.gub.uy/clima/agricultura/balance-hidrico>