

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RELACIONES HÍDRICAS EN DOS ESPECIES DE *Eucalyptus* EN  
SISTEMA SILVOPASTORIL**

por

**Santiago BARRIOS MILLER  
Rodrigo PIPPO ARBELO**

**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 aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. (MSc). Gina Dogliotti

Codirector:

---

Ing. Agr. (PhD). Jaime González

Tribunal:

---

Ing. For (MSc) Franco Schinato

---

Ing. Agr. (MSc) Matías Nion

Fecha: 27 de junio de 2025

Estudiante:

---

Santiago Barrios Miller

---

Rodrigo Pippo Arbelo

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, queremos agradecer a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República por brindarnos los conocimientos durante toda la carrera.

A nuestra directora del trabajo final de grado, Gina Dogliotti, por su dedicación y permanente disposición.

A Jaime González, Carolina Munka y Franco Schinato por sus constantes aportes y sugerencias que enriquecieron nuestro trabajo.

A la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt por permitirnos llevar a cabo nuestra investigación en sus instalaciones.

Por último, y muy especialmente, a nuestras familias, amigos y a todas aquellas personas que formaron parte de nuestra carrera y nos brindaron su apoyo incondicional.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE FIGURAS .....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Director:.....	11
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1. SISTEMAS AGROFORESTALES .....	12
2.1.1. Definición de sistemas agroforestales .....	12
2.1.2. Funciones de los sistemas agroforestales.....	12
2.1.3 Clasificación de los sistemas agroforestales .....	13
2.1.4 Definición de sistemas silvopastoriles.....	13
2.1.5 Sistemas silvopastoriles en Uruguay .....	13
2.2 COMPONENTE ARBÓREO.....	15
2.2.1 <i>Eucalyptus</i> .....	15
2.2.2 Primeras plantaciones de <i>Eucalyptus</i> en Uruguay.....	15
2.2.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden .....	15
2.2.4. <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden .....	16
2.3. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y BIOFÍSICOS .....	17
2.3.1. Conductancia estomática .....	17
2.3.2. Potencial hídrico .....	20
2.3.3. Intercepción de la radiación .....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL .....	22
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.....	22
3.3. CARACTERIZACIÓN MICROCLIMÁTICA .....	23
3.3.1. Precipitaciones .....	23
3.3.2. Temperatura .....	24
3.3.3. Evaporación mensual.....	24
3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS .....	25

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	25
3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES .....	27
3.6.1. Potencial hídrico.....	27
3.6.2. Conductancia estomática de las hojas.....	27
3.6.3. IAF e Intercepción PAR .....	28
3.6.4. DAP, Altura Total y Altura de Copa Viva.....	28
3.7. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE DATOS.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. VARIABLES ANALIZADAS .....	29
4.1.1. DAP y Altura Total .....	29
4.1.2. Porcentaje de Copa Viva.....	32
4.1.3. Potencial Hídrico de Base.....	36
4.1.4. Potencial Hídrico del Xilema.....	38
4.1.5. Conductancia estomática .....	40
5. CONCLUSIONES .....	44
6. BIBLIOGRAFÍA.....	45
7. APÉNDICES .....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa con la distribución natural de E. dunnii</i> .....	16
Figura 2. <i>Mapa con la distribución natural de E. grandis</i> .....	17
Figura 3. <i>Respuesta de distintas especies a lo largo del día en el verano a diferentes variables</i> 18	
Figura 4. <i>Pendiente del modelo unificado de optimización estomática en condiciones de buen riego y sequía</i> .....	19
Figura 5. <i>Imagen satelital ampliada del ensayo de semillas</i> .....	22
Figura 6. <i>Precipitación mensual a lo largo del año</i> .....	23
Figura 7. <i>Temperatura mensual a lo largo del año</i> .....	24
Figura 8. <i>Evaporación mensual decádica</i> .....	25
Figura 9. <i>Esquema ilustrativo del ensayo</i> .....	26
Figura 10. <i>Perfil de elevación de los Bloques en el terreno</i> .....	26
Figura 11. <i>DAP y Altura total en función de la Especie y el Arreglo</i> .....	29
Figura 12. <i>DAP en función de la altura total</i> .....	32
Figura 13. <i>Porcentaje de Copa viva en función de la Especie y Arreglo</i> .....	33
Figura 14. <i>Potencial Hídrico en función de la Especie y el Bloque</i> .....	37
Figura 15. <i>Potencial Hídrico del Xilema (PHX) en función del Potencial Hídrico de Base (PHB)</i> .....	39
Figura 16. <i>Conductancia estomática en función del Potencial Hídrico de Base</i> .....	42
Figura 17. <i>Conductancia estomática en función del Potencial Hídrico del Xilema</i> .....	43

## RESUMEN

El sector forestal en Uruguay ha mostrado un crecimiento destacado, alcanzando un impacto económico de 2.500 millones de dólares en 2022, lo que representa el 4% del PBI nacional. Por otro lado, la ganadería, un pilar histórico del país, cuenta con 12 millones de cabezas de ganado y sigue siendo uno de los principales sectores exportadores. En este contexto, los sistemas silvopastoriles (SSP), que integran la producción forestal y ganadera, ofrecen beneficios significativos como la diversificación de ingresos, la reducción de riesgos de incendio, la mejora del bienestar animal y un aporte a la sostenibilidad ambiental, sin embargo, su adopción enfrenta desafíos asociados al manejo técnico. Este trabajo busca aportar información clave para fomentar la implementación de SSP en Uruguay. La interacción entre los componentes arbóreos y pastoriles en los SSP genera dinámicas complejas, especialmente en lo que respecta a la competencia por recursos como el agua. Por ello, el estudio de las relaciones hídricas y la conductancia estomática de los *Eucalyptus* es esencial para evaluar el desempeño de los árboles bajo diferentes arreglos, su impacto en la disponibilidad de agua para el pastizal y, en última instancia, la sostenibilidad y productividad global del sistema. El objetivo principal fue caracterizar las relaciones hídricas y la conductancia estomática de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en sistemas silvopastoriles con arreglos de simple y triple fila. Para ello, se estudiaron las condiciones hídricas del suelo, la respuesta de los árboles a dichas condiciones y variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total en estaciones contrastantes. El estudio se llevó a cabo en 2024 en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, ubicada en Cerro Largo, Uruguay, sobre suelos Brunosoles Subéutricos, caracterizados por su uso pastoril. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar, evaluando las especies *E. grandis* y *E. dunnii* en arreglos de simple y triple fila en callejones de 14 metros. Las mediciones incluyeron potencial hídrico, conductancia estomática, caracterización de copa, medición de DAP y altura, realizadas en las estaciones de verano e invierno. Los resultados indicaron que *Eucalyptus grandis* presentó un mejor desempeño en altura total y DAP, así como un menor porcentaje de copa viva bajo el arreglo de triple fila. Por otro lado, *E. dunnii*, aunque menos eficiente en crecimiento y transmisión de luz al suelo, mostró un menor crecimiento en altura total y DAP en arreglos de simple fila posiblemente debido a las condiciones microambientales favorables que este diseño ofrece. En términos de relaciones hídricas, no se encontraron diferencias significativas en potencial hídrico y conductancia estomática entre los distintos arreglos, pero sí entre especies y estaciones. *E. grandis* presentó mayores niveles de conductancia estomática en general que *E. dunnii*, lo que podría deberse a características propias de las especies. La mayoría de las diferencias significativas encontradas en el estudio estuvieron asociadas a la especie, más que al tipo de arreglo o la orientación. Finalmente, las condiciones climáticas, como las precipitaciones y la demanda hídrica, influyeron de manera significativa en el potencial hídrico y el desempeño de ambas especies. Este estudio destaca el potencial de *E. grandis* en sistemas silvopastoriles y subraya la importancia de un manejo adecuado de la selección de especies para optimizar la producción en este tipo de sistemas.

*Palabras clave:* *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, sistemas silvopastoriles, conductancia estomática, potencial hídrico

## ABSTRACT

The forestry sector in Uruguay has shown remarkable growth, achieving an economic impact of 2.5 billion dollars in 2022, representing 4% of the national GDP. Meanwhile, livestock farming, a historical cornerstone of the country, boasts 12 million head of cattle and remains one of the primary export sectors. In this context, silvopastoral systems (SPS), which integrate forestry and livestock production, offer significant benefits such as income diversification, reduced fire risks, improved animal welfare, and a contribution to environmental sustainability. However, their adoption faces challenges related to technical management. This work aims to provide key information to foster the implementation of SPS in Uruguay. The interaction between the tree and pasture components in SPS generates complex dynamics, especially concerning competition for resources like water. Therefore, studying the water relations and stomatal conductance of *Eucalyptus* is essential to evaluate tree performance under different arrangements, their impact on water availability for the pasture, and ultimately, the overall sustainability and productivity of the system. The main objective was to characterize the water relations and stomatal conductance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in silvopastoral systems with single and triple row arrangements. To achieve this, soil water conditions, the trees' response to these conditions, and variables such as diameter at breast height (DBH) and total height were studied in contrasting seasons. The study was conducted in 2024 at the Bernardo Rosengurtt Experimental Station, located in Cerro Largo, Uruguay, on Subeutric Brunosol soils, characterized by their pastoral use. A randomized block experimental design was used, evaluating *E. grandis* and *E. dunnii* in single and triple row arrangements with 14-meter alleys. Measurements included water potential, stomatal conductance, crown characterization, DBH, and height, taken during the summer and winter seasons. The results indicated that *Eucalyptus grandis* showed better performance in total height and DBH, as well as a lower percentage of live crown under the triple row arrangement. On the other hand, *E. dunnii*, although less efficient in growth and light transmission to the soil, showed less growth in total height and DBH (Diameter at Breast Height) in single-row arrangements, possibly due to the favorable microclimatic conditions that this design offers. In terms of water relations, no significant differences were found in water potential and stomatal conductance between the different arrangements, but there were differences between species and seasons. *E. grandis* generally exhibited higher levels of stomatal conductance than *E. dunnii*, which could be attributed to species-specific characteristics. Most of the significant differences found in the study were associated with the species rather than the type of arrangement or orientation. Finally, climatic conditions, such as precipitation and water demand, significantly influenced the water potential and performance of both species. This study highlights the potential of *E. grandis* in silvopastoral systems and underscores the importance of proper species selection management to optimize production in these systems.

*Keywords:* *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, silvopastoral systems, stomatal conductance, water potential

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal en Uruguay ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, convirtiéndose en uno de los pilares de la economía nacional. En el 2022, tuvo un impacto estimado de 2.500 millones de dólares, representando un 4% del PBI nacional (Dirección General Forestal, [DGF], 2023). Como resultado de las inversiones realizadas en los últimos años, se proyecta un crecimiento continuo del sector, incluyendo expansión de plantaciones forestales, desarrollo de infraestructura, incremento en la capacidad industrial para la producción de celulosa y otros derivados. Este sector es fundamental en la generación de empleos, ya que mantiene de manera directa más de 17.000 puestos de trabajo y más de 25.000 si se incluyen aquellos generados de manera indirecta (DGF, 2023). Además, contribuye significativamente a las exportaciones del país, consolidándose como un pilar clave para la economía nacional, y transformándose la celulosa en el principal producto de exportación del país durante 2024 (Uruguay XXI, 2024).

La ganadería, por su parte, es un sector clave de la economía y cultura uruguaya, destacándose por la cría de bovinos y ovinos. Con más de 12 millones de cabezas de ganado bovino, Uruguay es reconocido por su carne de alta calidad, respaldada por sistemas de trazabilidad obligatoria que la diferencian a nivel mundial. En 2022, las exportaciones de carne bovina generaron cerca de 3.000 millones de dólares, con China y la Unión Europea como principales mercados (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023). El sector ofrece más de 80.000 puestos de trabajo, consolidándose como una fuente importante de empleo a nivel nacional (Ackermann & Cortelezzi, 2020).

Dentro de este contexto, los sistemas silvopastoriles (SSP) representan una oportunidad significativa, aunque aún no están ampliamente implementados en el Uruguay. Estos sistemas combinan la producción forestal y ganadera en un mismo espacio, ofreciendo múltiples beneficios. En el 2020 la superficie destinada a este tipo de sistema superó las 6.000 hectáreas efectivas, predominando en la región sureste del país. Sin embargo, el interés en esta práctica está aumentando, con proyecciones de aumentar estas cifras en los próximos años (Sancho et al., 2021).

Los SSP presentan ventajas importantes como la diversificación de ingresos, la reducción del riesgo de incendios y la mejora del bienestar animal. Esta forma de uso del suelo, proporciona sombra al ganado en verano, y abrigo en el invierno, condiciones que disminuyen el estrés de los animales, aumentan la productividad y las tasas de preñez. También contribuyen a mitigar el cambio climático al optimizar el uso de recursos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A su vez, el manejo integrado con árboles permite obtener madera de calidad para la industria aserrable, siempre y cuando se realice manejo del componente forestal con este fin, junto con la producción de forrajes de calidad para el ganado.

A pesar de las oportunidades mencionadas anteriormente, la adopción de los SSP enfrenta desafíos. El éxito del sistema se basa en aprovechar las complementariedades y

facilitaciones entre los componentes animal, forestal y herbáceo en el uso de los recursos, de forma que superen los efectos de su competencia. La necesidad de generar conocimiento científico-técnico para el manejo del sistema en forma integrada es el principal reto para el desarrollo de esta forma de producción en el país. Sin embargo, iniciativas lideradas por instituciones como la Universidad de la República (UDELAR) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) están trabajando para superar estas barreras, generando evidencia científica y promoviendo la adopción de estos sistemas entre los productores. Con el apoyo de políticas públicas y la incorporación de nuevas tecnologías, los SSP tienen el potencial de posicionarse como una estrategia clave para diversificar la producción agropecuaria, mejorar la sostenibilidad del sector forestal y fortalecer la economía rural en Uruguay.

Dentro de las interacciones del sistema, el uso del recurso hídrico y las relaciones hídricas establecidas entre sus componentes son determinantes para el crecimiento vegetal y, en consecuencia, para el rendimiento del sistema integrado. En este sentido, el agua representa un factor limitante de la producción, especialmente durante el verano, una situación que puede agravarse ante la ocurrencia de eventos extremos como ha sido el caso de los últimos años.

El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, perteneciente a la Facultad de Agronomía, ubicada en Bañado de Medina, departamento de Cerro Largo, Uruguay. El objetivo principal de este estudio fue analizar el comportamiento de las relaciones hídricas entre árbol, ambiente y suelo a lo largo de distintas estaciones del año, verano e invierno. Este análisis busca generar información relevante sobre las relaciones hídricas y el uso del agua de dos especies forestales en distintos arreglos de plantación en SSP. Dado que los datos sobre este tema son limitados en Uruguay, este trabajo contribuye directamente a una mejor comprensión y gestión de las SSP en el país.

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las relaciones hídricas y conductancia estomática en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* bajo un sistema pastoril con arreglos en simple y triple fila.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las condiciones hídricas a nivel del suelo en *E. grandis* y *E. dunnii* en diferentes arreglos silvopastoriles.
- Estudiar la respuesta del árbol a las condiciones hídricas en *E. grandis* y *E. dunnii* en diferentes arreglos silvopastoriles.
- Caracterizar las relaciones hídricas y conductancia estomática del dosel de *E. grandis* y *E. dunnii*.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales son una forma de producción muy antigua. Estas técnicas evolucionaron en el tiempo a través de la práctica y han formado una base de conocimiento tradicional de distintas poblaciones. En la segunda mitad del SXX, la agroforestación se ha desarrollado como una ciencia, utilizando principios ecológicos, en la búsqueda de una producción más sostenible y eficiente. En este sentido, se desarrollaron esfuerzos para la definición, clasificación y comprensión de los conocimientos empíricos establecidos por siglos para mejorar los modelos de producción (Nair, 1985; Tewari & Dagar, 2017).

#### 2.1.1. Definición de sistemas agroforestales

Los sistemas de producción agroforestales (SAF) se definen como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y pastos, integrándose en el tiempo y el espacio con el objetivo de incrementar y optimizar la producción de manera sostenible. Estos sistemas tienen el potencial de contribuir a la solución de problemas asociados al uso de los recursos naturales, gracias a las funciones biológicas y socioeconómicas que desempeñan. Además, debido a la estructura vertical proporcionada por los árboles y otras especies, pueden convivir plantas y cultivos con diferentes requerimientos de luz; asimismo, los árboles protegen al suelo de los efectos del sol, el viento y las fuertes lluvias que caracteriza al trópico (Fassbender, 1993).

Para Vergara (1985) los SAF aumentan el rendimiento total, combinan la producción de cultivos y/o animales con especies forestales, en forma simultánea o secuencial sobre la misma superficie de terreno, y aplican prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local (Vergara, 1985). Según Polla (1990, como se cita en Sancho et al., 2021) los sistemas agroforestales son una alternativa productiva viable para un país esencialmente agropecuario, con características agroecológicas que favorecen la integración de la forestación con la ganadería y viceversa.

#### 2.1.2. Funciones de los sistemas agroforestales

Los SAF desempeñan un importante rol en la sostenibilidad ambiental (Jiménez Otárola et al., 2001). Estos sistemas contribuyen al manejo y conservación del suelo mediante la incorporación de materia orgánica proveniente de hojarasca, raíces y residuos de cosecha. A su vez, mejoran la estructura del suelo al incrementar su porosidad y reducir la erosión. Son una opción para disminuir la presión sobre los bosques, al ofrecer fuentes alternativas de madera, leña y alimentos. Crean condiciones favorables para la biodiversidad, proporcionando hábitats para polinizadores y dispersores de semillas. El

sombreado generado por el componente leñoso, reduce el crecimiento de malezas agresivas y mitiga los efectos de la desertificación, preservando la diversidad genética.

En el ámbito de los servicios ecológicos, los sistemas agroforestales pueden promover la conservación del agua, suelo y fertilidad, y ofrecer protección contra factores climáticos extremos, como vientos y temperaturas altas. Asimismo, contribuyen a la regulación térmica e hidrológica, la fijación de carbono y la conservación de la biodiversidad, además de fomentar actividades como el ecoturismo y la recreación, promoviendo paisajes más armónicos y sostenibles que integran beneficios ambientales, económicos y sociales (Jiménez Otárola et al., 2001).

### 2.1.3 Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales, propuesta por Nair (1985), resulta esencial para su caracterización, evaluación y mejora. Esta se organiza en tres categorías principales según sus componentes: los sistemas agrosilviculturales, que integran cultivos con especies leñosas; los sistemas silvopastoriles, que combinan especies leñosas con pasturas y animales; y los sistemas agrosilvopastoriles, que agrupan cultivos, pastos, animales y especies leñosas en un solo esquema. Esta clasificación permite identificar y aprovechar las interacciones entre los distintos elementos, promoviendo la sostenibilidad y la productividad de estos sistemas.

### 2.1.4 Definición de sistemas silvopastoriles

Desde finales del SXX la definición de SSP establece el doble objetivo de producción pecuario y forestal, donde la presencia de leñosas perennes, las herbáceas y los animales interactúan bajo un sistema de producción integrado (Ibrahim & Pezo Quevedo, 1998). Polla (1998, como se cita en Sancho et al., 2021) enfatiza la producción diversificada, ampliando el concepto de presencia de los componentes a un objetivo de producción. Establece la asociación o combinación de especies forestales leñosas, praderas y ganado en una unidad productiva, con el fin de producir forraje, productos pecuarios y forestales.

Sin embargo, la implementación de los SSP se ha implementado con un objetivo de producción animal, ignorando la diversidad de productos y funciones dentro de un sistema integrado (Bussoni et al., 2015; Cabbage et al., 2012; Navas Panadero, 2010). Estos sistemas crean microclimas en las áreas de pastoreo, disminuyendo la temperatura entre 2 y 9 °C en comparación con áreas abiertas (Reynolds, 1995; Wilson & Ludlow, 1991). Además, la cobertura arbórea reduce la radiación solar que alcanza a los animales, minimizando el estrés térmico y protegiéndolos de problemas como la fotosensibilidad (Djimde et al., 1989; Weston, 1982).

### 2.1.5 Sistemas silvopastoriles en Uruguay

La creación de leyes destinadas a incentivar la forestación en Uruguay han sido un elemento clave para el desarrollo del sector forestal. La primera ley de promoción

forestal, Ley No. 13.723 de 1968, fue promulgada con el objetivo de abastecer el mercado interno con especies exóticas de rápido crecimiento, que tendrían como destino el uso como combustible y cumplirían función de protección sobre los cultivos, suelos y recursos hídricos. Además, se promovió el uso del monte para fines recreativos y turísticos (Riella & Ramírez, 2008). En 1987 fue promulgada la Ley No. 15.939 para mejorar los resultados de la política forestal previa (Soust, 2012). Esta introdujo incentivos estatales como subsidios a plantaciones, exoneraciones fiscales, créditos blandos y aranceles preferenciales para bienes de capital e insumos (Carámbula & Piñeiro, 2006). También dividió al país en tres zonas según suelos prioritarios para la forestación, optimizando el uso de tierras menos aptas para otras actividades agropecuarias. En el norte del país predominan las plantaciones de pino y la industria maderera, concentrándose en Tacuarembó y Rivera. En el litoral, especialmente en Paysandú y Río Negro, las plantaciones de eucalipto se destinan a la producción de pulpa de celulosa, con expansión hacia Cerro Largo y Treinta y Tres para fines similares (Fedrigo et al., 2018).

En 2005, se ajustaron las políticas eliminando subsidios y modificando criterios de exoneración fiscal. Estas se limitaron a bosques orientados a la producción de madera sólida (aserrado, tableros y chapas), caracterizados por un manejo específico que prioriza diámetros grandes y madera sin nudos (van Dijk & Savenije, 2006). Todo esto generaría la oportunidad de que productores ganaderos tradicionales comiencen a incorporar el rubro forestal en sus sistemas productivos, además de incentivar a inversores extranjeras y empresas internacionales a comprar tierras para forestar (van Dijk & Savenije, 2006). En este sentido, los SSP pueden resultar atractivos debido que, a diferencia de una plantación forestal, la incorporación de un cultivo o ganado en pie permite ingresos económicos en el corto plazo, y la forestación capitalización a futuro (Soust, 2012).

La forma más usual de pastoreo de ganado en plantaciones forestales en Uruguay es mediante contratos entre empresas forestales que manejan gran cantidad de superficie, y productores locales que manejan ganado en estas superficies (Cubbage et al., 2012). Obteniéndose así, un beneficio mutuo entre las partes, ya que para la empresa forestal el tener ganado disminuye el riesgo de incendio y percibe ingreso por renta, y para el productor ganadero, la utilización de forraje de la superficie no forestada y engorde de su ganado, para una futura venta (Cubbage et al., 2012). Cabe destacar como ya se nombró anteriormente; que en los últimos años se ha observado una creciente tendencia en Uruguay hacia la integración de la silvicultura y la ganadería, con un aumento de la superficie destinada a diseños silvopastoriles específicos.

## 2.2 COMPONENTE ARBÓREO

### 2.2.1 *Eucalyptus*

El género *Eucalyptus* corresponde botánicamente a la Clase Angiospermas, Subclase Dicotiledóneas y Familia Mirtáceas (Boland et al., 2006). Cuenta con 600 taxones originarios de Australia y algunas islas vecinas (Brussa, 1994). Se tratan de especies que prosperan bajo una gran diversidad de condiciones ambientales, desde la parte norte de Australia, con climas tropicales y subtropicales, con lluvias de carácter estival, hasta la parte sur y la Isla de Tasmania, con climas templados, fríos y precipitaciones invernales. Altitudinalmente se distribuyen entre el nivel del mar y unos 2000 metros sobre éste (Boland et al., 2006).

### 2.2.2 Primeras plantaciones de *Eucalyptus* en Uruguay

Las primeras plantaciones de *Eucalyptus* en Uruguay surgieron gracias a la iniciativa de Sir Lowry Cole. Durante su estancia en la isla Mauricio, una colonia británica, cultivó allí algunos ejemplares de eucaliptos. Al ser trasladado para asumir nuevas funciones en otra colonia, Cole decidió llevar consigo algunas plántulas, logrando establecer nueve ejemplares de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* en el parque de su nueva residencia (Poynton, 1979). Veinticuatro años más tarde, estos árboles desempeñarían un papel significativo en el desarrollo del panorama forestal uruguayo.

La primera introducción registrada de especies de *Eucalyptus* al Uruguay fue realizada por Jorge Hodgskin a mediados del SXIX, a solicitud de Tomás Tomkinson. La procedencia de este material, compuesto por plantas de *E. globulus*, fue Sudáfrica, habiendo sido transportadas desde Buena Esperanza por Sir Lowry Cole. De la siembra de estas semillas se obtuvieron las primeras plántulas en almácigos en el año 1853. El propio Tomkinson comenzaría con las plantaciones en su establecimiento “La Selva” situado en el Paso de la Arena (Brussa, 1994). Posteriormente comenzaría la plantación masiva de eucaliptos por parte de varios personajes de la época (Berro, 1975).

### 2.2.3 *Eucalyptus dunnii* Maiden

Esta especie aparece en forma natural en una pequeña área en la región central-este de Australia (28°-30°15'S), (Figura 1). Crece en zonas continentales principalmente, desde 300 a 750 m sobre el nivel del mar, clima templado, con un promedio de temperaturas máximas de 27-30°C y mínimas de 0-3°C. Con hasta 60 heladas por año; clima húmedo, precipitaciones estivales del orden de 1.000 a 1.750 mm anuales (Boland et al., 2006). Crece en suelos de alta fertilidad, buena capacidad de retención de agua y buena aireación, siendo sensible al mal drenaje (Boland et al., 1980; Kelly et al., 1983).

### Figura 1

Mapa con la distribución natural de *E. dunnii*



Nota. Modificado de Boland et al. (2006).

Según el Anuario Estadístico Agropecuario realizado por la DIEA (2022), el *E. dunnii* es la segunda especie con más relevancia en las plantaciones en Uruguay, ocupando una superficie de más de 216 mil hectáreas plantadas mayores a 3 años, equivalente a poco más del 25% de la superficie total. En cuanto a la importancia en producción de plantines, fue la más producida, representando un 45,8% del total a nivel país (DGF, 2021). La tendencia, además, se sigue incrementando ya que su relevancia aumenta año tras año, y es la especie con mayor cantidad de hectáreas en cuanto a nuevas plantaciones se refiere para el año 2021, con un 42% de importancia (DIEA, 2022).

*Eucalyptus dunnii* se encuentra asociado a las zonas bajas, sin excesos de humedad, ya que es más tolerante a las heladas que otras especies, pero presenta intolerancia al anegamiento. Se trata de una especie que produce poca cantidad de semillas, pero actualmente se opta por realizar su reproducción a través de esquejes, este método incrementa la producción de plantines y favorece la expansión de la superficie plantaciones a nivel nacional.

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

El *Eucalyptus grandis* se encuentra naturalmente en el este de Australia, agrupado en tres zonas separadas de norte a sur y con diferencias altitudinales (Figura 2). La región más septentrional, ubicada entre los 16 y 19° de LS, mantiene una altitud del entorno de los 1100 msnm, la central ubicada a los 21° de LS con una media de 600 msnm y la costera sur entre los 25 y 33° de LS con altitudes entre 0 y 600 msnm. A su vez, el clima varía desde zonas templadas en el sur hasta tropicales en el norte con temperaturas promedio de 24-32°C y precipitaciones anuales de 1.000 a 3.500 mm (Boland et al., 1980;

Hall et al., 1963; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1981). Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, bien drenados (Boland et al., 1980). Para Brussa (1994) se trata de uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales por su conformación y velocidad de crecimiento, las que pueden verse sensiblemente disminuidas en los suelos poco desarrollados o en aquellos con drenaje imperfecto. A su vez, las plántulas y plantas jóvenes no toleran excesivas heladas. En 2021, esta especie ocupó 251 mil hectáreas de plantaciones mayores a tres años, representando el 30% del total; sin embargo, su relevancia en nuevas plantaciones está disminuyendo, ocupando el 36% (DIEA, 2022).

## Figura 2

Mapa con la distribución natural de *E. grandis*



Nota. Modificado de Boland et al. (2006).

### 2.3. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y BIOFÍSICOS

Esta sección explorará parámetros fisiológicos y biofísicos clave. Profundizaremos en sus definiciones e investigaciones relevantes, examinando específicamente la conductancia estomática, el potencial hídrico y la interceptación de la radiación.

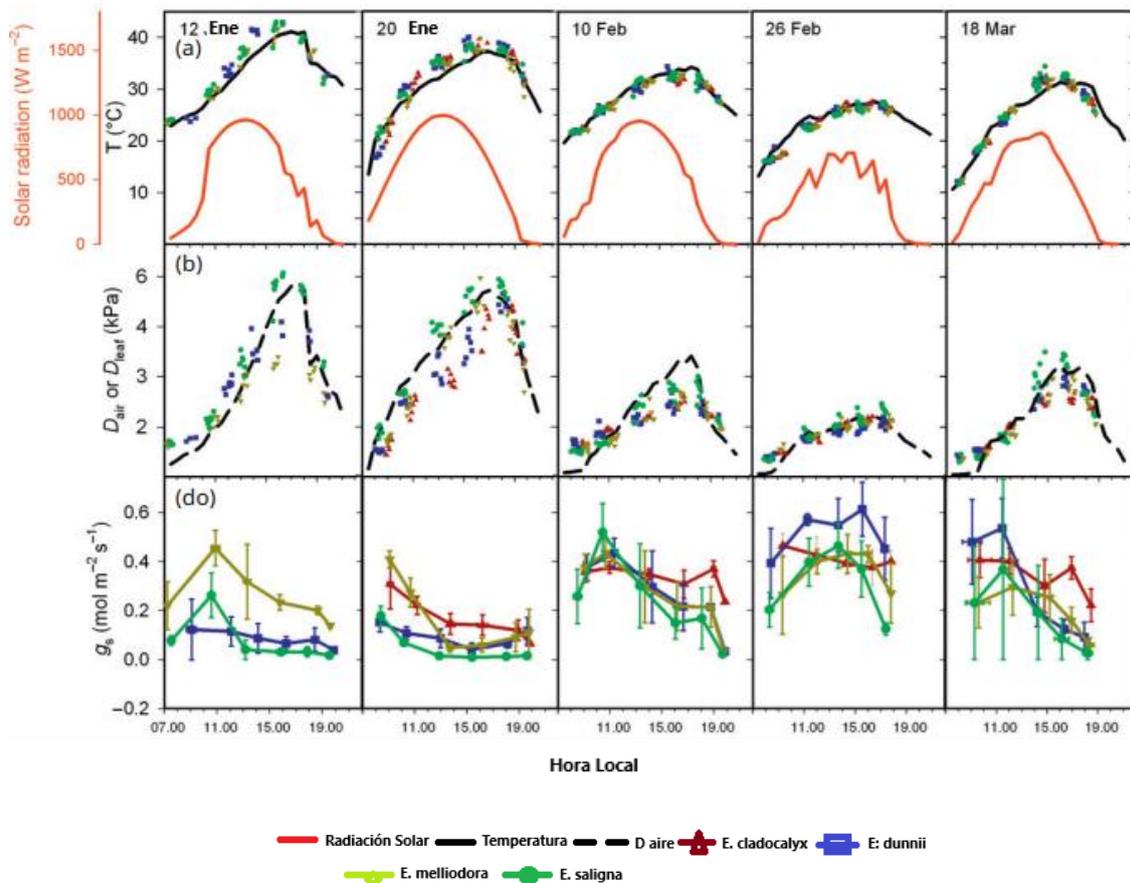
#### 2.3.1. Conductancia estomática

La conductancia estomática es un parámetro fisiológico que está relacionado con el flujo de vapor de agua y CO<sub>2</sub> entre las plantas y la atmósfera, ya que ambos gases atraviesan los estomas, estructuras que desempeñan un papel crucial en la fisiología de las hojas al equilibrar la necesidad de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis con la regulación de la pérdida de agua (Jones, 1998; Katul et al., 2003; Sperry et al., 2003). Según la teoría estomática óptima, las especies originarias de zonas subhúmedas presentan un menor

costo marginal de agua por ganancia de carbono, lo que resulta en una conductancia estomática más baja en comparación con las especies de zonas húmedas (Hérault et al., 2013). En este estudio, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*, clasificadas como especies de zonas húmedas, muestran características de alta conductancia estomática, lo que se refleja en su respuesta a variables ambientales como la temperatura, el déficit de presión de vapor y la conductancia estomática a lo largo del día en verano (Figura 3). Estas especies presentan adaptaciones estomáticas típicas de zonas húmedas, lo que influye en su eficiencia fisiológica en condiciones ambientales más cálidas y húmedas.

### Figura 3

Respuesta de distintas especies a lo largo del día en el verano a diferentes variables



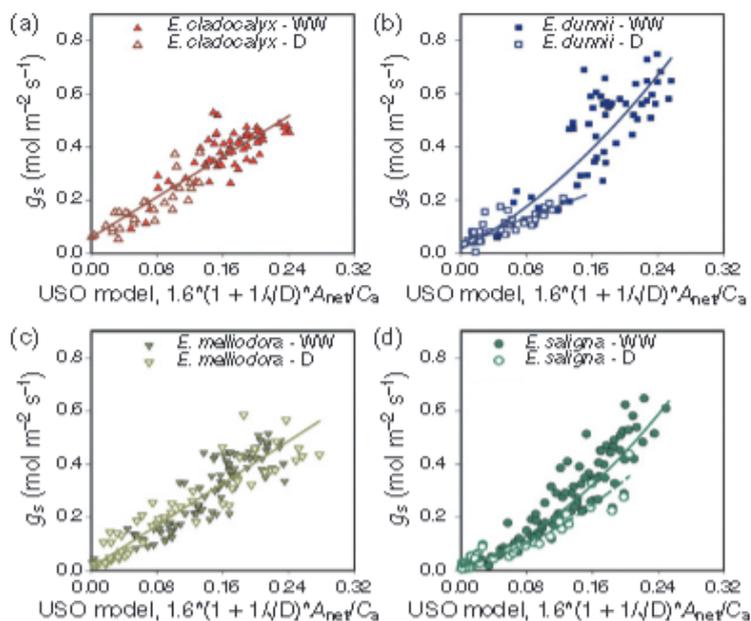
Nota. Modificado de Hérault et al. (2013).

Hérault et al. (2013) también mencionan las diferencias en la posición de los estomas en las especies de *Eucalyptus*, distinguiendo entre aquellas con hojas anfistomáticas, que tienen estomas en ambas caras de la hoja, e hipostomáticas, donde los estomas se encuentran solo en la cara inferior. Además, señala los cambios que ocurren a medida que las hojas pasan de su estado juvenil al de adulto. En este sentido, destaca que *Eucalyptus dunnii* es una especie fuertemente heteroblástica, ya que en su etapa juvenil presenta hojas hipostomatosas, limitando el intercambio gaseoso a la parte inferior de la hoja, mientras que en la madurez desarrolla hojas anfistomatosas, lo que le permite una mayor capacidad de transpiración y fotosíntesis al tener estomas en ambas superficies.

Por otro lado, los resultados obtenidos por Hérault et al. (2013) (Figura 4) muestra la respuesta de diversas especies al modelo unificado de optimización estomática bajo condiciones de buen riego y sequía. Las especies subhúmedas, como *E. cladocalyx* y *E. melliodora*, no mostraron efectos significativos por la sequía, mientras que las especies húmedas, como *E. dunnii* y *E. saligna*, mostraron una notable sensibilidad a la sequía, evidenciada en la reducción de la pendiente del modelo, lo que refleja una menor eficiencia estomática en condiciones de sequía en comparación con el riego adecuado. Estos resultados subrayan cómo la conductancia estomática puede verse alterada por factores climáticos y cómo diferentes especies responden de manera distinta a las condiciones hídricas. En cuanto al rango de conductancia estomática máxima para las especies en estudio, Whitehead y Beadle (2004) indican que los valores oscilan entre 280 y 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en condiciones favorables para los árboles.

#### Figura 4

Pendiente del modelo unificado de optimización estomática en condiciones de buen riego y sequía



Especies en condiciones de riego abundante (WW; línea gruesa y símbolos rellenos).  
Especies en condiciones de sequía (D, línea fina, y símbolos sin relleno).

Nota. Tomado de Hérault et al. (2013).

Al medio día, las plantas están expuestas a las condiciones más intensas de luz solar, temperatura y déficit de presión de vapor (DPV). Estas variables afectan directamente la apertura estomática, lo que convierte al mediodía en un punto crítico para evaluar la regulación estomática de la planta (Pereira et al., 1986).

El monitoreo periódico de variables como las variaciones estacionales, el potencial hídrico de la hoja diurna y el intercambio gaseoso (especialmente fotosíntesis y transpiración), se convierte en una herramienta muy valiosa. Si a esto le sumamos mediciones de conductancia estomática y las fluctuaciones climáticas y edáficas, podemos entender de forma más completa cómo una especie o genotipo aprovecha los

recursos disponibles en su entorno. Además, permite comprender cómo la estacionalidad de estos recursos impacta la productividad primaria de las plantas (Pereira et al., 1986). Tanto la escasez como el exceso de agua en el suelo afectan la actividad fotosintética, principalmente al influir en la regulación de la apertura y cierre de los estomas (Lambers et al., 2008; Pallardy, 2008). El movimiento estomático es el principal mecanismo que controla el intercambio de gases en las plantas terrestres superiores. El funcionamiento de los estomas constituye un compromiso fisiológico: cuando se abren, permiten la asimilación de dióxido de carbono; al cerrarse, conservan agua, reduciendo así el riesgo de deshidratación (Tenhunen et al., 1987).

### 2.3.2. Potencial hídrico

El potencial hídrico es un parámetro fundamental en la fisiología vegetal que mide la disponibilidad de agua en los tejidos de las plantas y su capacidad para realizar funciones vitales como la absorción y la transpiración. A nivel celular este se define mediante la ecuación  $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_g + \Psi_m$ , donde "p" es la presión de turgor que impulsa la expansión celular y "s" la presión osmótica, que refleja la concentración de solutos en las células, "g" corresponde a el gravitacional y "m", al mátrico. (Taiz & Zeiger, 2006).

En los ecosistemas forestales, el potencial hídrico es un factor clave que influye en el crecimiento individual de los árboles, determinado por la competencia por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes (Kozłowski et al., 1990). En este contexto, el potencial hídrico de base y el potencial hídrico del xilema son indicadores fundamentales del estado hídrico de la planta, reflejando su capacidad para absorber y transportar agua en diferentes condiciones ambientales. Además, la radiación fotosintéticamente activa (PAR), que corresponde al espectro de luz visible entre 400 y 700 nm, es esencial para la fotosíntesis y juega un papel crucial en la eficiencia en el uso del agua (De Las Rivas, 2008a). Ante condiciones de déficit hídrico, las plantas desarrollan estrategias de aclimatación como la reducción de la expansión foliar y el incremento del crecimiento radicular para mejorar la captación de agua (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). A nivel fisiológico, el cierre estomático se convierte en un mecanismo esencial para regular la transpiración y conservar el agua disponible, aunque esto también limita la captación de CO<sub>2</sub> necesario para la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2006). Por lo tanto, el potencial hídrico, tanto a nivel de base como en el xilema, junto con la competencia por recursos y las respuestas fisiológicas adaptativas, determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El agua es absorbida por las raíces a través de un gradiente de potencial hídrico, desde el suelo hasta la planta (Taiz et al., 2015). El agua en el suelo se mueve por gradientes de potencial hídrico desde zonas de mayor disponibilidad hacia aquellas de menor potencial, facilitando su absorción por las raíces (Kramer & Boyer, 1995). A nivel radicular, la captación de agua está determinada por la permeabilidad de la raíz y la capacidad de los pelos radicales para extraer agua de los microporos del suelo (Lambers et al., 2008). Una vez absorbida, el agua se transporta a través del xilema impulsada por la transpiración, generando un gradiente de tensión que permite el ascenso del agua desde la raíz hasta las hojas (Sperry et al., 2003).

Para la mayoría de las especies, el potencial hídrico del xilema, sigue las variaciones diurnas en la demanda evaporativa de la atmósfera, alcanzando un valor máximo justo antes del amanecer. En este momento, las plantas están al máximo posible turgencia para una determinada condición del agua en el suelo (Kramer & Boyer, 1995). Estas condiciones favorecen el equilibrio hídrico entre el suelo y la planta, lo que permite obtener una medición precisa del potencial hídrico de base mediante el uso de una bomba Scholander. Es importante realizar este tipo de mediciones, ya que, según Crombie et al. (1988), el potencial hídrico de base es un buen indicador del potencial hídrico del suelo explorado por las raíces, dada la fuerte relación existente entre el potencial hídrico de la planta y el agua disponible en el suelo. Además, el crecimiento en altura, diámetro y, por consiguiente, en área basal, es función del agua disponible en el suelo (Donoso & Ruiz, 2001).

La medida de potencial hídrico de xilema se realiza al mediodía, cuando las condiciones ambientales, como temperatura elevada, baja humedad relativa y alta radiación solar, generan el máximo gradiente de potencial hídrico entre el suelo y la atmósfera. Estas condiciones colocan a la planta en su punto de mayor estrés hídrico, permitiendo registrar el potencial hídrico más bajo y obtener una medida representativa de la capacidad del xilema para transportar agua. El agua se mueve de forma espontánea a favor de gradientes negativos de potencial hídrico: entra y circula por la planta en estado líquido, mientras que su salida al exterior ocurre, principalmente, en estado gaseoso a través de las hojas, mediante el proceso de transpiración (Salisbury & Ross, 2000).

### 2.3.3. Intercepción de la radiación

La intercepción de la radiación solar es un factor fundamental para los procesos fotosintéticos en las plantas, ya que determina la cantidad de energía disponible para la producción de biomasa. La radiación fotosintéticamente activa (PAR), abarca longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros y a su vez la luz visible está comprendida entre estas longitudes de onda (De Las Rivas, 2008a).

La luz tiene efectos significativos sobre la morfología y fisiología foliar, siendo uno de los principales factores que afectan la fotosíntesis. Las plantas se adaptan a la cantidad y tipo de luz a la que están expuestas, lo que permite clasificarlas en heliófilas (plantas de sol) y esciófitas (plantas de sombra). En los árboles, esta adaptación se manifiesta en la presencia de hojas de sol y de sombra dentro de la misma planta, optimizando la captación de luz en diferentes partes del dosel (De Las Rivas, 2008b).

Se ha demostrado que la productividad de las plantas está vinculada a la capacidad de la cubierta vegetal (o dosel arbóreo) para interceptar la radiación (Campillo et al., 2012). Para caracterizar esta capacidad, se han analizado diversos parámetros, siendo uno de los más relevantes el área foliar disponible. Watson (1947) definió el índice de área foliar como la relación entre el área total de un lado del tejido foliar y la superficie del suelo, y lo asoció con la tasa neta de asimilación. Es decir, la cantidad de biomasa producida por unidad de área foliar y por unidad de tiempo. Sus resultados mostraron una relación directa entre el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta.

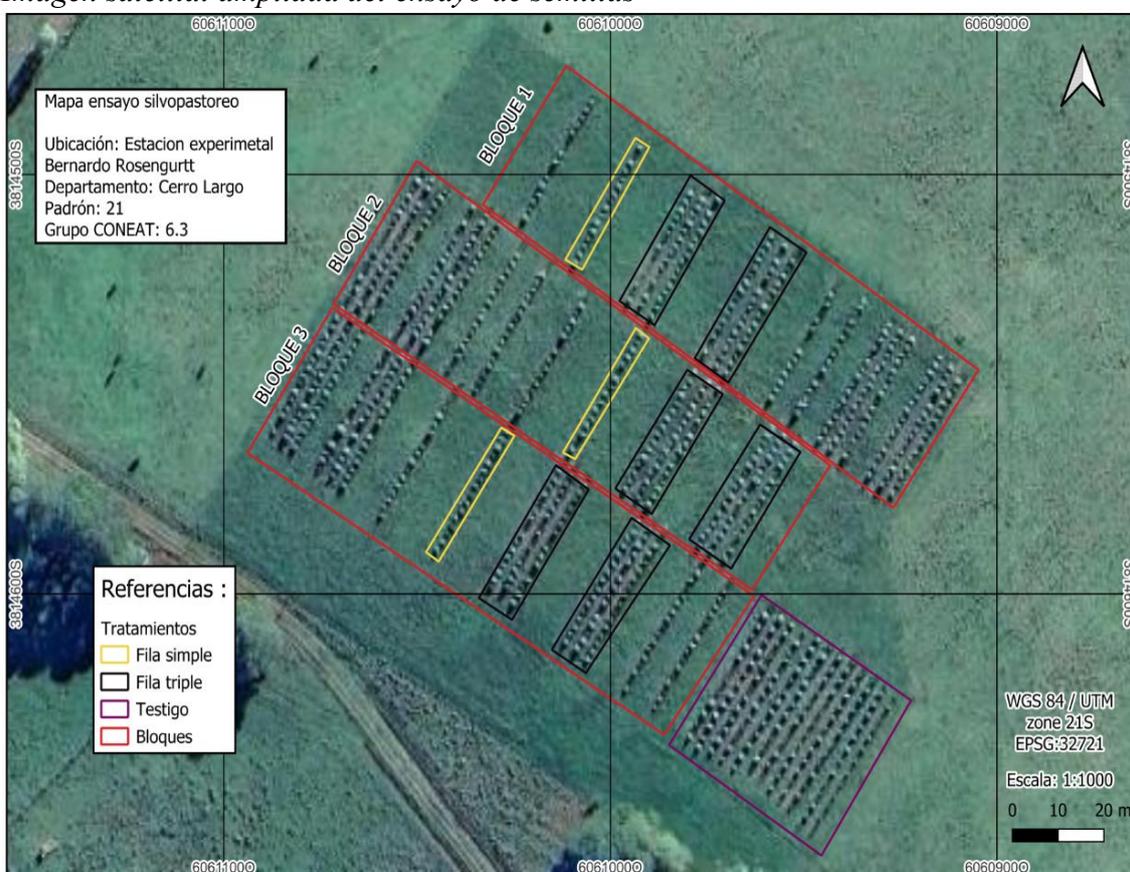
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR), ubicada en las coordenadas -32.355295(latitud), -54.432015(longitud) en la localidad de Bañado Medina, Cerro Largo, Uruguay, perteneciente a la Facultad de Agronomía. La investigación se realizó en el año 2024, en dos estaciones contrastantes, en el mes de Febrero (verano) y en el mes de Agosto (invierno). La Figura 5 muestra una imagen satelital de la estación experimental, en la cual se puede observar la ubicación exacta del área de estudio, así como la disposición de los bloques experimentales y los tratamientos aplicados en el experimento.

**Figura 5**

*Imagen satelital ampliada del ensayo de semillas*



*Nota.* Elaborado en base a Sutton et al. (2023).

#### 3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

El experimento se realizó sobre el padrón número 21, sobre suelo 6.3 con un Índice de Productividad de 109 (Dirección General de Recursos Naturales [DGRN], 2020). La aptitud general del uso de la tierra de este tipo de suelos es para la producción de pasturas y muy limitada para la producción forestal, por características deficientes como alto riesgo de erosión debido al microrelieve. El relieve está constituido por colinas

sedimentarias no rocosas y lomadas fuertes con pendientes predominantes entre 5 y 8%. Los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Lúvicos (Praderas Pardas), profundos a moderadamente profundos, color pardo grisáceo muy oscuro, textura franco arcillosa drenaje bueno y fertilidad media; y Brunosoles Subéutricos Háplicos (Regosoles), superficiales, de color pardo oscuro, franco arcillo limosos, bien drenados y fertilidad media. La vegetación es de pradera estival y el uso es pastoril, principalmente estival. Este grupo forma parte de la unidad Arroyo Hospital de la carta a escala 1:1.000.000 (DGRN, 2020).

### 3.3. CARACTERIZACIÓN MICROCLIMÁTICA

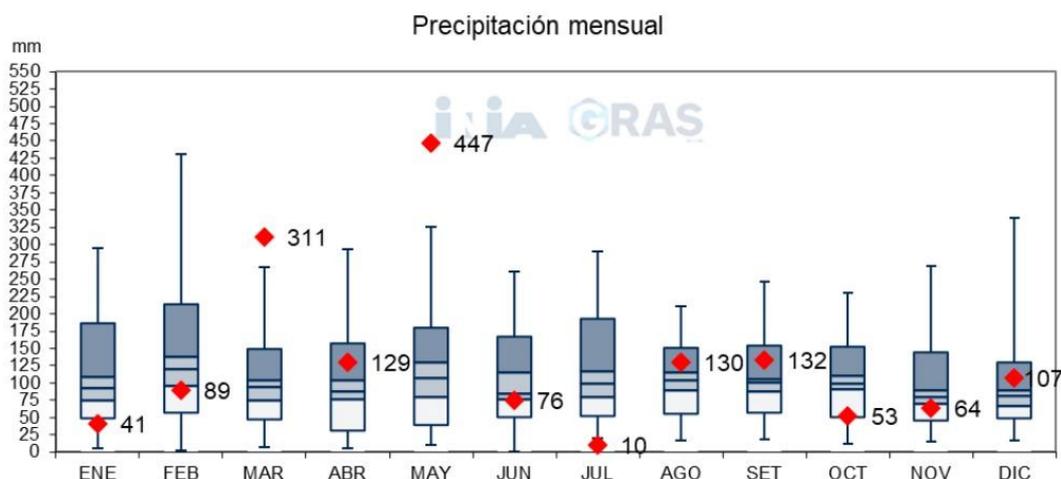
Los datos climáticos se obtuvieron de la estación INIA Treinta y Tres (período enero-diciembre 2024) del Banco de datos agroclimáticos del INIA GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2024), incluyendo precipitación mensual, temperatura mensual y evaporación mensual decádica.

#### 3.3.1. Precipitaciones

Los datos de precipitación utilizados fueron obtenidos del sitio web INIA GRAS (INIA, 2024), con estación en INIA Treinta y Tres. En la Figura 6 se presentan las precipitaciones mensuales registradas a lo largo del año, destacándose mayo como el mes con mayor acumulación, alcanzando 447 mm, mientras que julio registró el menor valor con solo 10 mm. Los meses restantes muestran precipitaciones relativamente homogéneas. Cabe señalar que las precipitaciones en enero y julio, meses previos a las mediciones de campo, fueron particularmente bajas, registrándose 41 mm y 10 mm, respectivamente. El acumulado total de precipitaciones desde enero hasta agosto, último mes con mediciones de campo, fue de 1233 mm.

#### Figura 6

*Precipitación mensual a lo largo del año*



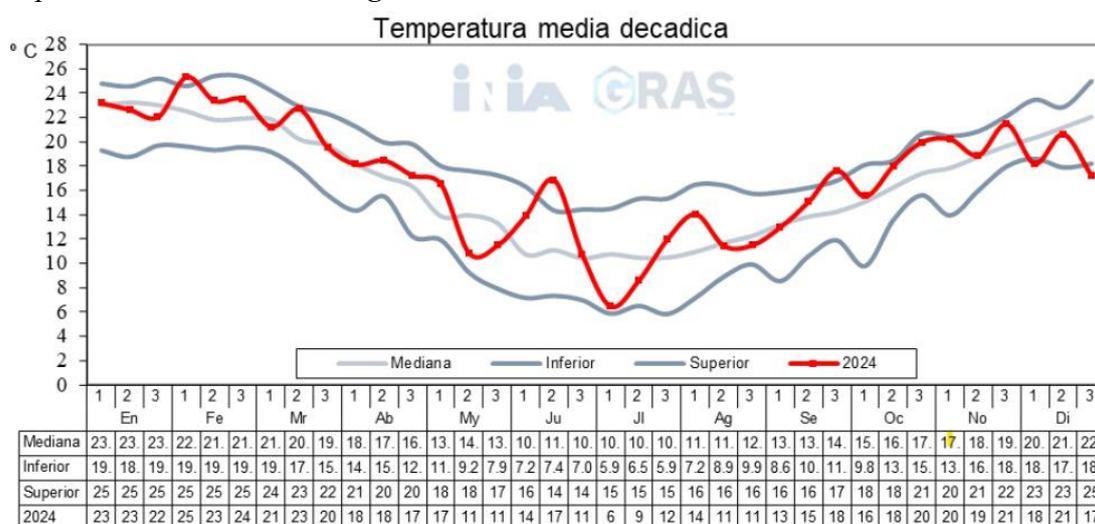
*Nota.* Tomado de INIA (2024).

### 3.3.2. Temperatura

De manera similar a los datos de precipitaciones, las temperaturas utilizadas en este análisis fueron obtenidas del INIA GRAS (INIA, 2024), tomando como referencia la estación ubicada en el departamento de Treinta y Tres. En la Figura 7 se presentan las temperaturas medias del año 2024, representadas con una línea roja, en comparación con los promedios de la última década. Se destaca que las temperaturas de febrero fueron significativamente más altas en comparación con años anteriores. Asimismo, se identificó una anomalía en junio, con temperaturas medias considerablemente superiores a las normales. Los meses restantes presentaron valores dentro de los rangos esperados.

**Figura 7**

*Temperatura mensual a lo largo del año*

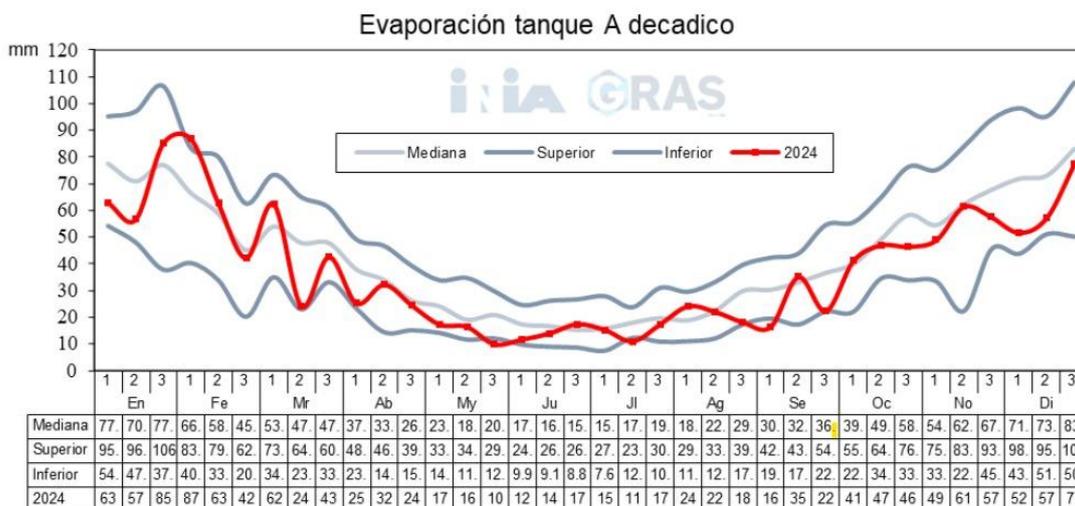


*Nota.* Tomado de INIA (2024).

### 3.3.3. Evaporación mensual

Los datos de evaporación analizados provienen del banco de datos del sitio INIA GRAS, correspondiente a la estación del INIA ubicada en Treinta y Tres abarcando todo el año 2024 (INIA, 2024). Estos valores se compararon con los promedios de la última década, así como con los registros máximos y mínimos del mismo período. En la Figura 8 se observa que los valores promedio de 2024 se encuentran dentro del rango de oscilación de los promedios históricos de la década. El gráfico muestra que el mes de enero se ubicó en los valores más altos registrados, mientras que febrero presentó valores cercanos a la media. En contraste, julio se mantuvo por debajo del promedio.

**Figura 8**  
Evaporación mensual decádica



Nota. Tomado de INIA (2024).

### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

El experimento se encuentra dentro del Proyecto de investigación Aplicada Fondo María Viñas, 2021 con el título de “Plasticidad de la arquitectura de árbol de diferentes genotipos de *Eucalyptus* en respuesta a distintos arreglos de plantación y el efecto sobre las interacciones pastura-leñosa a nivel aéreo y radicular en sistemas silvopastoriles”.

Vale aclarar que la plantación de *Eucalyptus* utilizada en este estudio presenta origen seminal, procedente de un programa de mejoramiento forestal, implicando en diversidad genética para las especies, donde cada individuo es un genotipo distinto.

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

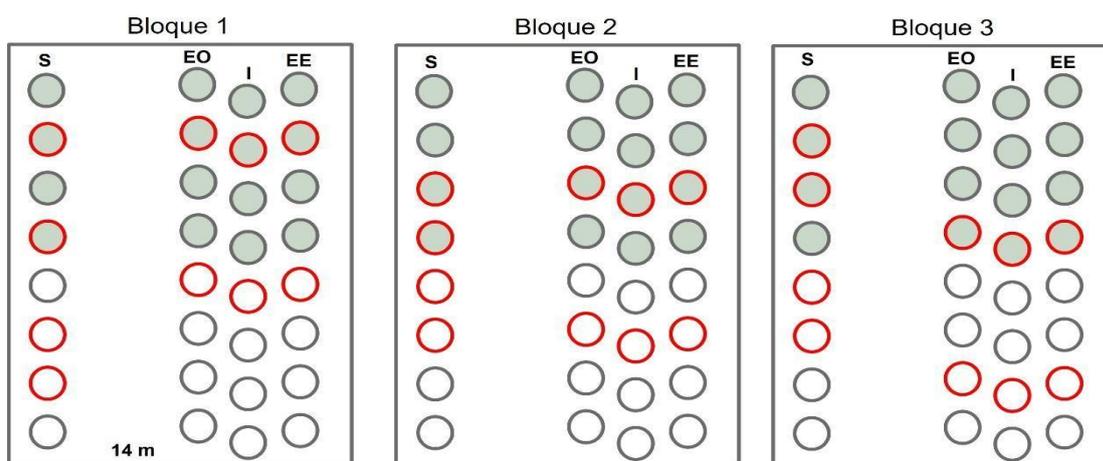
Los ensayos se llevaron a cabo utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar en parcelas divididas, conformado por tres bloques, con tres repeticiones por tratamiento. El tratamiento se define como la combinación de la especie utilizada y el arreglo de plantación implementado, mientras que la parcela principal es el arreglo y la subparcela es la especie. En estos bloques se evaluaron los distintos tratamientos, que incluyeron arreglos de callejones con anchos de 7 y 14 metros y el uso de dos especies de eucalipto, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* de un año y medio de edad. Además, se implementaron diferentes configuraciones de plantación, como filas simples y triples, junto con un tratamiento testigo basado en una plantación densa. Este diseño permitió comparar la respuesta de las especies y configuraciones bajo diferentes arreglos espaciales.

Primariamente se llevó a cabo la selección y marcación de los árboles destinados a las mediciones, priorizando aquellos con un único fuste recto. Para las repeticiones correspondientes a las filas simples, se seleccionaron dos árboles de cada especie

aleatoriamente. En el caso de las repeticiones con filas triples, se seleccionaron seis árboles de cada especie también de forma aleatoria, distribuidos de la siguiente manera: dos con orientación externa hacia el este “(EE)”, dos con orientación interna “(I)” y dos con orientación externa hacia el oeste “(EO)”. En total, se midieron 16 árboles por bloque, sumando un total de 48 árboles distribuidos entre los tres bloques establecidos para el estudio (Figura 9). Estos bloques se encuentran en un perfil de elevación de suelo que tiene una pendiente del 3% como se observa en la Figura 10.

### Figura 9

*Esquema ilustrativo del ensayo*



*Nota.* Simple fila (S), Externos del Oeste (EO), Interno (I), Externos del Este (EE), Callejón de 14 metros.

### Figura 10

*Perfil de elevación de los Bloques en el terreno*



*Nota.* Elaborado en base a Google (2024).

Las mediciones se llevaron a cabo en dos estaciones contrastantes del año (verano / invierno) y en dos momentos del día: durante las horas previas al amanecer y al mediodía, cuando la radiación solar alcanza su máximo. En la madrugada, se midió el potencial hídrico de base utilizando una bomba de presión Scholander modelo 1505D-EXP (PMS Instruments, Albany, OR, EE.UU.) Al mediodía, se realizó la misma medición, pero esta vez se midió el potencial hídrico del xilema. La conductancia

estomática de las hojas se determinó utilizando un porómetro SC-1 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EE.UU.), además la intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue medida utilizando un ceptómetro (“METER”, LP-80) a diferentes alturas del árbol. Adicionalmente, se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta métrica y la altura de los árboles con una regla graduada.

### 3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES

#### 3.6.1. Potencial hídrico

Para medir el potencial hídrico, se utilizó la bomba Scholander. Primero, se conectó correctamente el tubo de gas a la cámara de presión, siguiendo las instrucciones del manual. Para las mediciones del potencial hídrico de base, se seleccionaron dos hojas por árbol. Se recortó el pecíolo de cada hoja en diagonal para aumentar la superficie de contacto y que la gota se pudiera observar correctamente, luego se introdujo la hoja en la cámara sellada y se aplicó presión. Cuando la savia comienza a emerger en el extremo del pecíolo, se registra el valor de la medición. Las hojas seleccionadas deben ser sanas y recién cosechadas del árbol, repitiendo el procedimiento en dos hojas por árbol para mejorar la precisión de las mediciones. Las hojas seleccionadas para la medición del medio día se prepararon con antelación, cubriéndolas con papel aluminio y una bolsa aproximadamente 30 minutos antes, para evitar que reciban luz y transpiren, lo que permite medir el potencial hídrico del xilema del árbol. Las mediciones de potencial hídrico de base se realizan en la madrugada, momento en el que la transpiración de la planta es prácticamente nula debido a la ausencia de luz solar y a las bajas temperaturas.

Las lecturas obtenidas con la bomba Scholander se registraron en unidades de bares, que corresponden a la escala del manómetro incorporado en el equipo. Para una correcta comparabilidad con la bibliografía científica internacional, todos los valores fueron convertidos a megapascals (MPa) utilizando el factor de conversión estándar (1 bar = 0,1 MPa).

#### 3.6.2. Conductancia estomática de las hojas

El porómetro fue calibrado cuidadosamente siguiendo las instrucciones del manual de uso. Luego de la calibración, se procedió a realizar las mediciones en dos hojas por árbol. Las hojas seleccionadas debían estar sanas, tener un tamaño adecuado y situarse a una altura aproximada al pecho del operador. Una vez elegida la hoja, el primer paso consiste en colocar el sensor en la parte superior de la misma. Se espera a que la barra de progreso complete la lectura, y una vez finalizada, se guarda la medición. Este procedimiento se repitió para cada árbol, registrando dos hojas por árbol. En caso de que las mediciones de una hoja presentaran valores muy distantes, se realizó una tercera medición para reducir el margen de error.

### 3.6.3. IAF e Intercepción PAR

La intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR) se midió utilizando un ceptómetro. En primer lugar, se calibró el dispositivo siguiendo las instrucciones del manual. Las mediciones se realizaron a distintas alturas del árbol. Primero, se registra la medición de PAR A en el callejón del bloque para determinar la radiación máxima disponible en la superficie del suelo para cada árbol medido. Posteriormente, se procede a medir el PAR B a diversas alturas del árbol, comenzando a 1 metro por debajo del ápice de la copa y realizando mediciones sucesivas cada metro hacia abajo, hasta alcanzar 1 metro por encima de la base del árbol.

### 3.6.4. DAP, Altura Total y Altura de Copa Viva

A cada árbol correspondiente se le determinó el diámetro a la altura del pecho (DAP) utilizando una cinta métrica, además de medir su altura total (Ht) con una regla graduada. Por su parte el porcentaje de copa viva se calculó midiendo la distancia desde el suelo a la primer rama con hojas vivas.

## 3.7. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos se realizó utilizando el Software InfoStat, donde se cargaron los registros obtenidos en campo. Mediante pruebas de análisis de varianza (ANOVA) se compararon las medias mediante el Test de Tukey y se determinó la existencia de diferencias significativas o no utilizando un *p-valor* de 0,05, entre los datos correspondientes a bloques, especies, configuraciones de filas y orientaciones que conforman los distintos tratamientos. Este análisis permitió extraer conclusiones fundamentadas sobre las variaciones observadas y su relación con los factores evaluados.

Para todas las variables medidas y analizadas, se utilizó el modelo experimental que corresponde a un diseño de bloques al azar (DBCA), representado de la siguiente manera:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + A_j + (B \times A)_{ij} + E_k(A)_j + (A \times E)_{jk} + T_l(E_k(A))_j + \varepsilon_{ijklm}$$

Siendo:

Y = variable de respuesta;

$\mu$  = media general;

B = efecto fijo del bloque (i);

A = efecto fijo del arreglo (j);

E = efecto fijo de la especie (k);

T = efecto fijo del árbol (l) dentro de la Especie y Arreglo;

$\varepsilon$  = error experimental.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

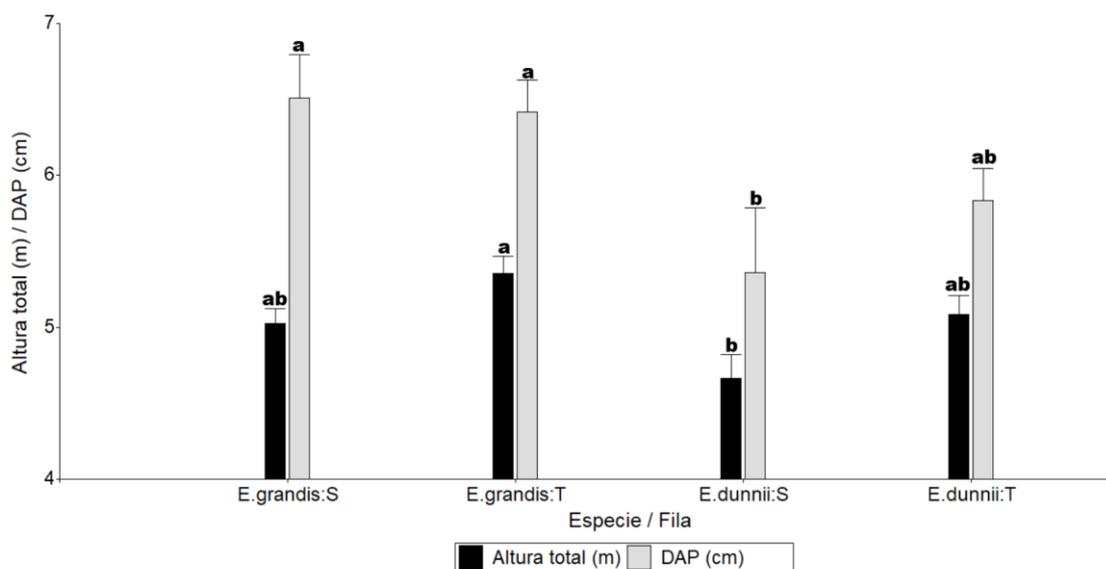
### 4.1. VARIABLES ANALIZADAS

#### 4.1.1. DAP y Altura Total

El crecimiento en altura fue influenciado por el arreglo y la especie y el diámetro del tronco solamente por la especie (ver Apéndice A). Los árboles plantados en triple fila alcanzaron alturas promedio superiores a los 5,2 m, con un incremento de 0,38 m respecto a los dispuestos en fila simple los cuales en promedio alcanzaron 4,82 m de altura (Figura 11). En cuanto al DAP, las diferencias fueron atribuibles únicamente a la especie, con valores de más de 6,4 cm para *E. grandis* y 5,6 cm para *E. dunnii*. El análisis estadístico indicó que las variaciones en diámetro fueron significativas solo entre especies, mientras que en altura se detectó una interacción significativa entre ambos factores: *E. grandis* en triple fila presentó la mayor altura, mientras que *E. dunnii* en fila simple obtuvo la menor altura. Las demás combinaciones de especie y arreglo mostraron valores intermedios, sin diferencias significativas entre ellas.

#### Figura 11

*DAP y Altura total en función de la Especie y el Arreglo*



*Nota.* *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Diámetro a la altura del pecho (DAP). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). (p-valor < 0.05). n= 96.

Para la especie *E. dunnii*, como se mencionó anteriormente, se observaron diferencias significativas en la altura y DAP en comparación con el tipo de arreglo y la especie. Los árboles plantados en filas triples para la especie *E. grandis* presentaron un mayor crecimiento en Ht y DAP a pesar de estar más próximos entre sí, en comparación con aquellos en filas simples de la especie *E. dunnii*. A su vez, *E. dunnii* simple fila presentó diferencias significativas con *E. grandis* simple fila en cuanto al DAP. Esto

resulta llamativo, ya que sería lógico suponer que una mayor cercanía entre individuos intensifica la competencia por luz, agua y nutrientes, limitando el desarrollo. Sin embargo, el mejor desempeño en las filas triples sugiere que, durante las etapas iniciales, la competencia con la pastura u otras coberturas del suelo podría ser más determinante que la competencia entre árboles. En las filas simples, al haber mayor espacio disponible, también hay mayor presencia de pastura, lo que podría generar una mayor demanda de recursos en el estrato radicular, afectando negativamente el crecimiento de los árboles. Es relevante mencionar que esta suposición no se midió directamente en la práctica, ya que no se evaluó el nivel de cobertura vegetal debajo de los árboles durante los primeros años. Por lo tanto, sería necesario realizar otro tipo de estudio para su corroboración. Este resultado adquiere relevancia en el contexto actual, donde se recomienda plantar árboles de forma aislada y equidistante para minimizar la competencia intraespecífica. No obstante, esta estrategia podría favorecer la competencia con la vegetación del sotobosque, especialmente al inicio del ciclo del cultivo. En consecuencia, los arreglos más densos, como las filas triples, podrían representar una alternativa más eficiente bajo ciertas condiciones, al reducir el impacto de la pastura sobre el desarrollo arbóreo en los primeros años, bajo la premisa de que esta afirmación sea cierta.

Otra hipótesis sobre estas diferencias observadas podría ser que la proximidad entre árboles en una plantación más densa (como en una fila triple) altera la calidad de la luz, aumentando la proporción de rojo lejano. Esta señal lumínica desencadena una respuesta fotomorfogénica en las plantas, causando el alargamiento del tallo. Por lo tanto, se espera que los árboles en plantaciones más densas sean más altos y delgados, mientras que los de filas simples serían más bajos y de mayor diámetro. Es probable que esta diferencia aún no sea notoria en rodales jóvenes, ya que los efectos se acentúan con el tiempo y el aumento de la competencia por la luz.

Varios autores destacan que el diseño del SSP tiene la capacidad de modificar el microambiente, generando condiciones que pueden favorecer un mejor crecimiento del árbol, tanto en altura como en DAP. Estas modificaciones del entorno físico influyen directamente sobre el desarrollo de las especies arbóreas, al alterar factores clave para su desempeño fisiológico. En evaluaciones de microclima en agroecosistemas, los principales descriptores ambientales utilizados incluyen la temperatura y la humedad relativa del aire, la radiación solar, la incidencia de vientos, la ocurrencia de precipitaciones, la presión atmosférica, la temperatura del punto de rocío, la evapotranspiración, la difusión de vapor de agua en el aire y el déficit de presión de vapor (Arias et al., 2008; Brown-Brandl et al., 2005; DeShazer et al., 2009). Estos parámetros permiten caracterizar las condiciones microclimáticas generadas por diferentes configuraciones de arreglo en los SSP, las cuales pueden tener efectos diferenciales sobre el crecimiento de los árboles según la especie, la densidad de plantación y la interacción con el estrato herbáceo. Estas modificaciones en el microclima podrían estar explicando las diferencias observadas dentro de los arreglos.

En este sentido, también se ha observado que factores microambientales afectan el desarrollo de los árboles según su ubicación dentro de la plantación. En un estudio realizado en Chile, por ejemplo, se identificaron diferencias significativas en variables como el DAP, el área basal y la altura de copa viva entre árboles ubicados en los bordes de los rodales y aquellos situados en el interior. Estas diferencias se atribuyeron a la mayor exposición de los árboles periféricos a condiciones ambientales extremas, como una mayor radiación solar y la acción directa del viento, lo cual puede limitar su crecimiento (Carrasco Alarcón, 1999). Similar es el caso del arreglo en simple fila, donde *E. dunnii* presentó menor DAP y altura total, lo cual puede estar explicado en parte por lo que nombran dichos autores. La disminución de la energía que alcanza la pastura, la reducción de la temperatura del suelo, el aumento de la HR y la disminución del viento reducen la ETP del componente herbáceo, reduciendo el consumo de agua (Benegas et al., 2014; Dibala et al., 2021). También, se ha observado que en los SSP las temperaturas pueden ser entre 2 y 5 °C más bajas en comparación con pastizales expuestos a plena radiación solar (Castillo et al., 2020; Murgueitio et al., 2011). En este contexto, diferentes estudios han comprobado que los SSP también generan cambios en otros componentes del microclima, además de la temperatura del aire, y la humedad del suelo, también pueden modificar la humedad relativa, la temperatura del suelo y la radiación fotosintéticamente activa. Estos cambios, si bien son positivos al controlar los extremos térmicos del aire y del suelo, también pueden ser negativos al reducir la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que llega al componente herbáceo. Estas condiciones pueden impactar de manera positiva o negativa el crecimiento forrajero en este tipo de sistemas, dependiendo del equilibrio alcanzado entre los distintos factores (Feldhake & Belesky, 2009).

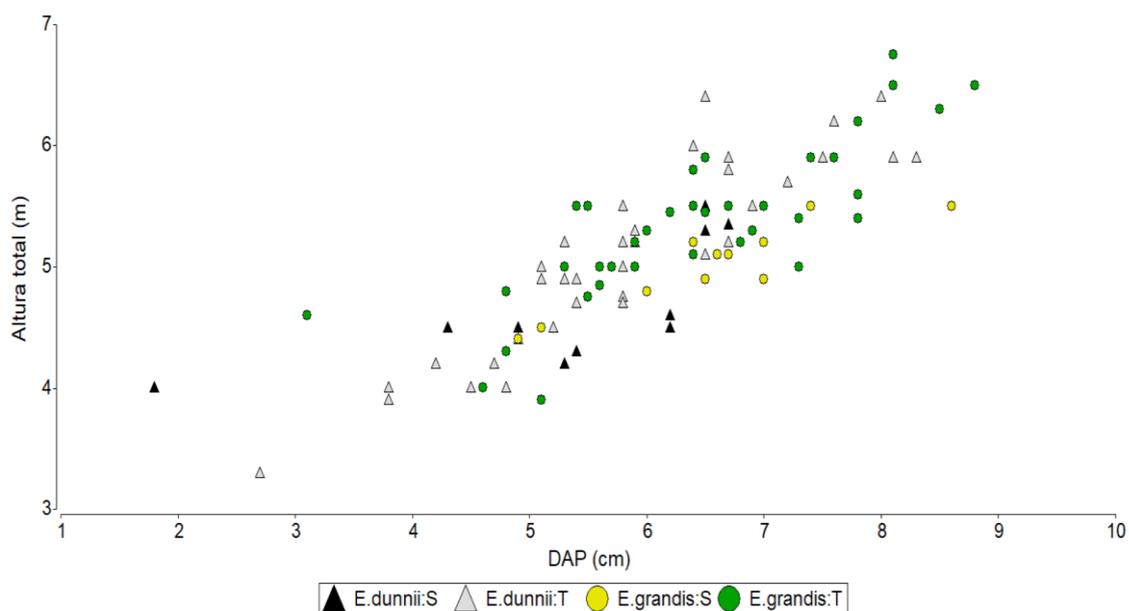
Por su parte, en cuanto a las diferencias observadas entre las especies, en un estudio realizado en Uruguay, Fusco Loriente et al. (2022) evaluaron una plantación de 14 años en Cerro Largo, encontrando que *Eucalyptus grandis* presentó un DAP significativamente mayor que *E. dunnii*, mientras que no se observaron diferencias significativas en el volumen individual entre ambas especies. Lo cual coincide con las mediciones realizadas en nuestro trabajo. Sin embargo, algunos ensayos regionales en el sur de Brasil y Argentina han demostrado que *E. dunnii* puede igualar o superar a *E. grandis* en rendimiento volumétrico en sitios con precipitaciones estivales, especialmente cuando se priorizan atributos como tolerancia al frío o enfermedades (Ferrere et al., 2022; Monteoliva & Hernández, 2014).

En cuanto a la orientación de los árboles en la fila entre los tratamientos (EE, I, EO) no se encontraron diferencias significativas atribuibles a este efecto (ver Apéndice B, Figura B1). Las diferencias observadas en altura total se deben a la especie y la fila, y en el caso del DAP, únicamente a la especie. Al analizar especie, fila y estación (ver Apéndice B, Figura B2), no hubo diferencias significativas en DAP entre arreglos ni estaciones. Se observó una correlación positiva entre DAP y altura (Figura 12): a mayor altura, mayor diámetro. En promedio, *E. grandis* alcanzó 5,2 m de altura y 6,5 cm de DAP, mientras que *E. dunnii* alcanzó 4,9 m y 5,6 cm, respectivamente. Esto confirma que

*E. grandis* supera a *E. dunnii* en ambas variables, aunque las diferencias son moderadas. Al analizar el crecimiento entre las mediciones de junio y agosto, se observó que *E. grandis* creció en promedio 0,3 metros en altura y 0,76 cm en DAP. En contraste, *E. dunnii* mostró un crecimiento un poco menor, alcanzando 0,29 metros de altura y 0,52 cm de DAP. Respecto a la configuración de las plantaciones, el arreglo de fila simple evidenció un aumento de 0,22 metros en altura y 0,58 cm en DAP. Notablemente, la triple fila superó estos registros, con crecimientos de 0,32 metros en altura y 0,66 cm en DAP.

### Figura 12

*DAP en función de la altura total*



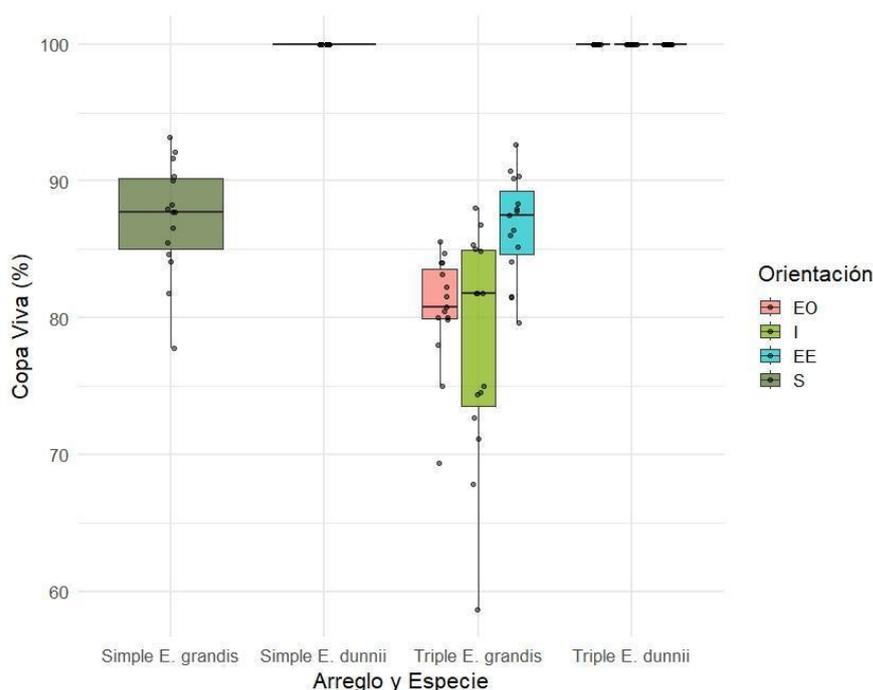
*Nota.* Diámetro a la altura del pecho (DAP). n=96.

#### 4.1.2. Porcentaje de Copa Viva

En la Figura 13 se presenta el gráfico correspondiente al porcentaje de copa viva para cada una de las especies en cuestión y junto a las configuraciones de sus arreglos. Una vez realizado el ANOVA (ver Apéndice C), se encontraron diferencias significativas en los efectos de la Especie, Arreglo y Orientación, así como en las interacciones entre estos factores. La especie *E. dunnii* mostró un comportamiento consistente en ambos arreglos, manteniendo prácticamente la totalidad de su copa viva. En contraste, *E. grandis* presentó un comportamiento distinto, con una reducción en el porcentaje de copa viva y diferencias claras entre las configuraciones. En la disposición de fila simple, esta especie conservó un mayor porcentaje de copa viva en comparación con la disposición de triple fila, donde la cantidad de ramas con hojas disminuyó significativamente.

**Figura 13**

Porcentaje de Copa viva en función de la Especie y Arreglo



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). (p-valor < 0.05). n-96.

Estas diferencias entre especies se atribuyen a características intrínsecas de cada una, mientras que las variaciones entre configuraciones en *E. grandis* están relacionadas con la estructura misma del arreglo. Según Ren et al. (2015), a medida que los árboles crecen y sus copas se cierran, las ramas inferiores reciben menos luz, lo que provoca su declive y eventual muerte. Las especies tolerantes a la sombra suelen auto podarse en niveles más profundos, mientras que las menos tolerantes requieren mayor exposición a la luz para sostener sus ramas.

En los sistemas silvopastoriles (SSP), los objetivos principales son la producción de madera y forraje para el ganado, lo que hace relevante que la luz llegue al del forraje para ser utilizada por éste. Lopes et al. (2017) señalan que la integración de especies arbóreas y forrajeras puede impactar negativamente la producción de biomasa herbácea y la acumulación de forraje debido a la reducción de la radiación fotosintéticamente activa que alcanza la pastura. Esto ocurre en condiciones de sombreado intenso, selección inadecuada de especies, espaciado insuficiente durante el establecimiento, o manejo deficiente de prácticas como la poda y el desbroce.

En el caso de *E. dunnii*, la llegada de luz al suelo puede ser limitada, especialmente en configuraciones de triple fila. Por el contrario, *E. grandis*, gracias a su menor proporción de copa viva puede determinar una estructura de dosel que permite una mejor penetración de la luz hacia la pastura. Esto se alinea con lo indicado por Paciullo et al.

(2014), quienes concluyen que la radiación solar reducida es uno de los principales factores limitantes para la acumulación de forraje en los SSP. Cabe resaltar que también se encontraron diferencias significativas en relación con el Tratamiento, es decir a la interacción Especie, Fila y Orientación (ver Apéndice C, Figura C1). Las especies difieren en la proporción de su altura con la copa viva. Mientras que *E. dunnii* no presenta diferencias atribuibles al tratamiento, manteniendo un porcentaje de copa viva uniforme y superior al 97%, *E. grandis* presenta valores inferiores al 89% y afectados por el arreglo de plantación. Los árboles de esta última, en triple fila presentan menor proporción que los de fila simple, excepto el ubicado en la hilera Este, que mantuvo un nivel similar al de la fila simple, (Figura 13). Como se indicó anteriormente, en la configuración de fila simple, *E. grandis* conserva un mayor % de copa viva. Mientras que en las orientaciones I y EO se registra una disminución en el porcentaje de copa viva.

La asociación entre el crecimiento diferencial en la orientación de la fila está asociado al comportamiento estomático en relación a la temperatura y DPV. Una posible explicación fisiológica del crecimiento diferencial asociado a la orientación en la fila podría estar vinculada al comportamiento estomático frente a la variación diaria de la radiación y la demanda evaporativa. Durante la mañana (orientación este), la radiación solar es más difusa y las temperaturas suelen ser más moderadas, lo que permite una apertura estomática más sostenida, favoreciendo la asimilación de carbono. En cambio, en la tarde (orientación oeste), si bien la radiación puede ser intensa, esta suele coincidir con condiciones de mayor temperatura y déficit de presión de vapor (DPV), lo que induce el cierre parcial o total de los estomas para evitar la pérdida de agua, limitando la fotosíntesis (Flexas et al., 2004). Por lo tanto, las plantas que reciben más radiación en la mañana pueden mantener tasas fotosintéticas más elevadas y sostenidas, mientras que aquellas expuestas principalmente en la tarde experimentan un mayor estrés térmico e hídrico, lo cual podría contribuir a la reducción de la copa viva y del crecimiento observado en la orientación EO. El factor temperatura juega un papel crucial en el proceso fotosintético, ya que afecta directamente las tasas de actividad metabólica en los tejidos vegetales y, por lo tanto, los niveles de productividad (D'Ambrosio et al., 2006). Dentro de este espectro, las hojas muestran un comportamiento característico: reflejan aproximadamente el 10% de la energía incidente, transmiten otro 10% y absorben cerca del 80% (Pallardy, 2008). Sin embargo, es importante destacar que estas proporciones no son fijas, sino que varían entre especies e incluso dentro de una misma especie, dependiendo de las condiciones ambientales específicas y del manejo del cultivo.

En resumen, la combinación de la orientación, que determina la cantidad y calidad de la radiación solar recibida, y la temperatura, que influye en la eficiencia de la fotosíntesis (D'Ambrosio et al., 2006), puede ser un factor que explica las diferencias observadas entre las % de copa viva de las diferentes orientaciones en *E. grandis*. La alta temperatura, especialmente en la tarde (orientación EO), puede explicar los efectos negativos de la radiación junto a la mayor temperatura, limitando la fotosíntesis y contribuyendo a la reducción de la copa viva.

Se encontraron diferencias significativas para el porcentaje de copa viva en función de la Especie y la Estación del año, tanto para sus factores como para la interacción entre estos (ver Apéndice C, Figura C2). Como se detalló anteriormente, *E. dunnii*, como característica de la especie, mantiene la totalidad de su copa viva independientemente de la estación en la que se encuentre. En un estudio realizado en São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil, Santos et al. (2021) evaluaron la producción de hojarasca en diferentes genotipos de *Eucalyptus*. Los resultados mostraron que *E. dunnii* presentó la menor producción de hojarasca, con un promedio de 2,03 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que otras especies presentaron mayor producción. La fracción foliar representó entre el 60% y el 91% del total de la hojarasca, siendo *E. dunnii* la especie con menor caída de hojas. Esto sugiere que *E. dunnii* mantiene una mayor proporción de copa viva en comparación con otras especies evaluadas, coincidiendo con el estudio realizado en nuestro trabajo.

En contraste, *E. grandis* no solo presenta un menor porcentaje de copa viva, sino que este disminuye aún más al pasar del otoño al invierno. Es decir, en otoño la altura promedio de la especie fue de 5,1 m, con una altura de copa de 4,3 m y la primera rama situada a 0,8 m del suelo. En invierno, la altura promedio aumentó a 5,4 m, manteniendo la misma altura de copa, pero la primera rama se ubicó a 1 metro. Como resultado, en otoño el porcentaje de copa viva era del 84 %, mientras que en invierno disminuyó al 80 %. La disminución del porcentaje de copa viva puede deberse a que, durante el invierno, la disponibilidad de luz puede ser menor, especialmente en las ramas inferiores, que ya reciben poca luz debido al sombreado por las ramas superiores y de árboles vecinos. La muerte y pérdida de ramas es un proceso natural durante la vida de los árboles y, dependiendo de cada especie, existen diversos mecanismos de protección desarrollados por los árboles para limitar los daños infringidos durante los procesos de poda natural (Nutto & Touza Vázquez, 2006). Al disminuir la productividad (fotosíntesis) de una rama y, con ello, su contribución al crecimiento del árbol, ésta es desconectada del sistema de transporte de nutrientes hacia la parte superior de la copa. A partir de ese momento los tejidos de la rama pasan a depender de su producción propia de asimilados, aunque todavía consumen agua y nutrientes aportados por las raíces (Nutto & Touza Vázquez, 2006). Esta reducción en la fotosíntesis genera que el árbol priorice las ramas superiores y por consecuencia las ramas inferiores mueren.

La cantidad y calidad de la radiación que llega al estrato herbáceo se ve influida por numerosos factores: las especies arbóreas, la altura del árbol, la arquitectura del dosel, el índice de área foliar, la hora del día, la ubicación geográfica (latitud y longitud), la orientación de la ladera al sol y la pendiente (Burner et al., 2018). Este fenómeno es clave en los sistemas silvopastoriles, ya que la cantidad de luz disponible para el estrato forrajero influye directamente en la productividad del pasto. En este contexto, *Eucalyptus grandis* presenta características que lo hacen especialmente adecuado para sistemas silvopastoriles. Su tendencia al autopodado, que favorece la penetración de luz en el estrato herbáceo, aumenta la cantidad de energía que puede producir el pasto, en teoría optimizando la producción forrajera.

#### 4.1.3. Potencial Hídrico de Base

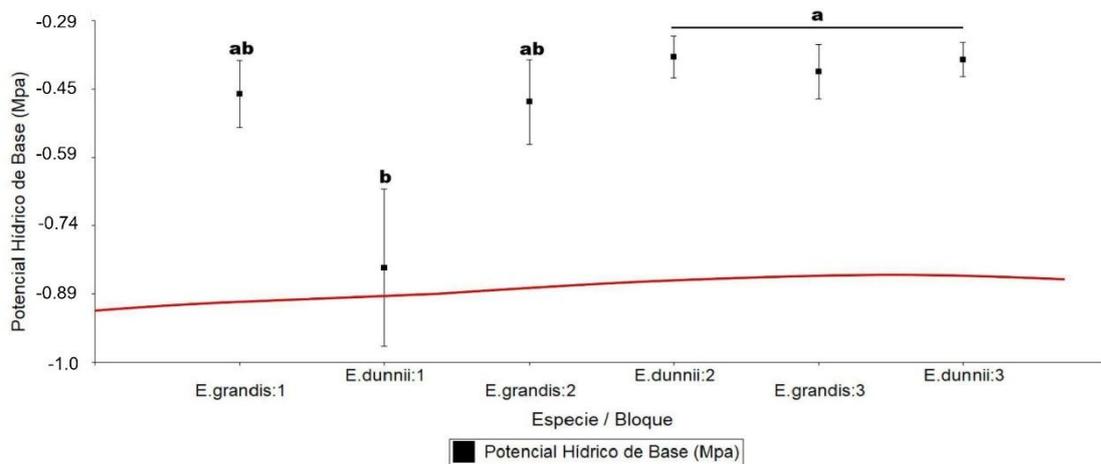
El Potencial Hídrico de Base (PHB) no fue afectado por el tipo de Especie ni Arreglos como se muestra en el Apéndice D, Figura D1. Sin embargo, sí se identificaron diferencias significativas asociadas al efecto Bloque y Estación. Los menores potenciales fueron registrados en el bloque 1 (-0,64 MPa), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los bloques 2 y 3 (-0,42 MPa y -0,39 MPa respectivamente), pero sí entre el bloque 3 y el bloque 1 (ver Apéndice D, Figura D2). Cabe destacar que el bloque 1 está ubicado en una ladera media, mientras que los bloques 2 y 3 se encuentran en una ladera alta, a 3 metros por encima del primero.

Posibles hipótesis que podrían explicar lo ocurrido en el bloque 1 son: al estar situado en una ladera media, puede existir un flujo superficial de agua desde áreas más altas que no se ha infiltrado completamente en el suelo. Esto puede llevar a la escorrentía, que puede afectar negativamente la capacidad de las plantas para acceder al agua almacenada en el suelo. Esta escorrentía puede además arrastrar nutrientes y aumentar la compactación superficial, lo que también puede dificultar la absorción de agua haciendo que disminuya el potencial hídrico de base. Cabe resaltar que el tipo de suelo pertenece a la clasificación 6.3, como se describió en la sección de materiales y métodos. Estos suelos pueden presentar riesgos de erosión debido al microrelieve generado, así como problemas en el desarrollo de raíces y en la disponibilidad de agua. Estos factores pueden afectar los resultados obtenidos, dependiendo de la posición del terreno en que se encuentren. Estas son sólo posibles hipótesis, ya que no contamos con las herramientas para asegurarlo. Sería necesario realizar un estudio más profundo para obtener conclusiones definitivas.

En la Figura 14 se presenta la gráfica para PHB en función de la Especie y el Bloque. Como se nombró anteriormente, no existen diferencias significativas para el efecto Especie, pero sí existen cuando se da la interacción con el efecto Bloque, que sí presentó diferencias significativas.

**Figura 14**

*Potencial Hídrico en función de la Especie y el Bloque*



*Nota.* *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Bloque 1 (1), Bloque 2 (2), Bloque 3 (3). Línea roja coincide con el perfil de elevación del suelo (3% de pendiente). (p-valor < 0.05). n-96.

En el gráfico se observa que el PHB más negativo corresponde a la especie *E. dunnii* en el Bloque 1, mientras que para *E. grandis* en el mismo bloque no se encontraron diferencias significativas en comparación con las demás interacciones Bloque/Especie. Se observó que los mayores potenciales hídricos de base se registraron en invierno, alcanzando -0,2 MPa. Este valor se relaciona con la figura 6, donde se observan lluvias acumuladas cercanas a los 800 mm entre abril y agosto. Esta considerable cantidad de agua disponible en el suelo, sumada a una menor demanda hídrica por parte de los árboles en invierno, se traduce en un aumento del PHB. En contraste, los menores potenciales hídricos se registraron en verano, con un valor de -0,8 MPa, debido a la escasez de precipitaciones previas a las mediciones. Está marcada diferencia estacional en la disponibilidad de agua subraya la influencia de las precipitaciones en el estado hídrico de los árboles.

Una forma de mitigar este problema es establecer un marco de plantación adecuado, ya que la cantidad de agua disponible por planta depende del espaciamiento entre los árboles (Aussenac & Granier, 1988; Donner & Running, 1986; Pothier & Margolis, 1990). Por ello, es crucial encontrar un equilibrio entre la disponibilidad hídrica y la competencia mediante un espaciamiento que permita aprovechar de manera óptima los recursos del sitio sin provocar la muerte de los ejemplares. Sin embargo, a pesar de lo señalado por estos autores, el marco de plantación no afectó el crecimiento de los árboles, ya que no se observaron diferencias que perjudiquen el crecimiento de los árboles para las configuraciones de triple fila con respecto a las filas simples.

Al analizar la interacción entre bloques y estaciones (ver Apéndice D, Figura D3), se observa que; en invierno, los tres bloques no presentan diferencias significativas en el potencial hídrico de base. Las diferencias entre bloques en el PHB se observaron

únicamente bajo condiciones de mayor estrés hídrico. En invierno, cuando las condiciones fueron menos limitantes para el agua, estas diferencias desaparecieron.

#### 4.1.4. Potencial Hídrico del Xilema

Luego de realizar un ANOVA en función del Potencial Hídrico del Xilema (PHX) (ver Apéndice E), se identificaron diferencias significativas en dos factores: Especie y Estación (ver Apéndice E, Figura E1 y E2). Las diferencias entre las especies son notorias, ya que *E. grandis* muestra potenciales más altos que *E. dunnii*. Sin embargo, en ambos casos, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos normales, considerando que estos rangos oscilan entre -1 a -2 MPa e incluso pueden llegar a -4 MPa dependiendo de las condiciones (Fernández, 2008). Por lo tanto, los valores observados en ambas especies se encuentran dentro de los valores normales, e incluso son levemente bajos, lo que puede deberse a varias razones. Una posible explicación es que los árboles estuvieron expuestos a balances hídricos muy negativos previo a las mediciones, lo que como consecuencia hizo que exista una menor cantidad de agua disponible en el suelo. Además, durante los días de medición se registraron temperaturas de hasta 41°C, baja humedad relativa y alta radiación solar, lo que incrementó la demanda de agua por transpiración, lo que probablemente contribuyó a que el gradiente hídrico alcanzara niveles muy negativos.

Es importante señalar que no se observaron diferencias significativas en el PHX entre los distintos tratamientos evaluados. Los valores promedio obtenidos fueron de -1,0 MPa para *E. dunnii* y de -0,9 MPa para *E. grandis*. El arreglo de fila simple presentó un valor promedio de -0,9 MPa, mientras que el arreglo de triple fila alcanzó los -1,0 MPa. Durante la medición invernal se registraron los mayores valores de Potencial Hídrico en el Xilema. Se obtuvo que *E. grandis* presentó un mayor potencial hídrico en comparación con *E. dunnii* en ambas estaciones. En *E. grandis*, el potencial hídrico fue de -1,3 MPa en verano y de -0,5 MPa en invierno, mientras que en *E. dunnii* fue de -1,3 MPa en verano y de -0,6 MPa en invierno. Estas diferencias en el potencial hídrico entre especies, con *E. dunnii* mostrando valores ligeramente más negativos, podrían estar asociadas, al menos en parte, con las características de su copa. Una mayor área foliar o una copa más densa (como la que se infiere para *E. dunnii* por su menor eficiencia en la transmisión de luz) podría implicar una mayor demanda transpiratoria, lo que repercutiría en un menor potencial hídrico para mantener el flujo de agua desde el suelo.

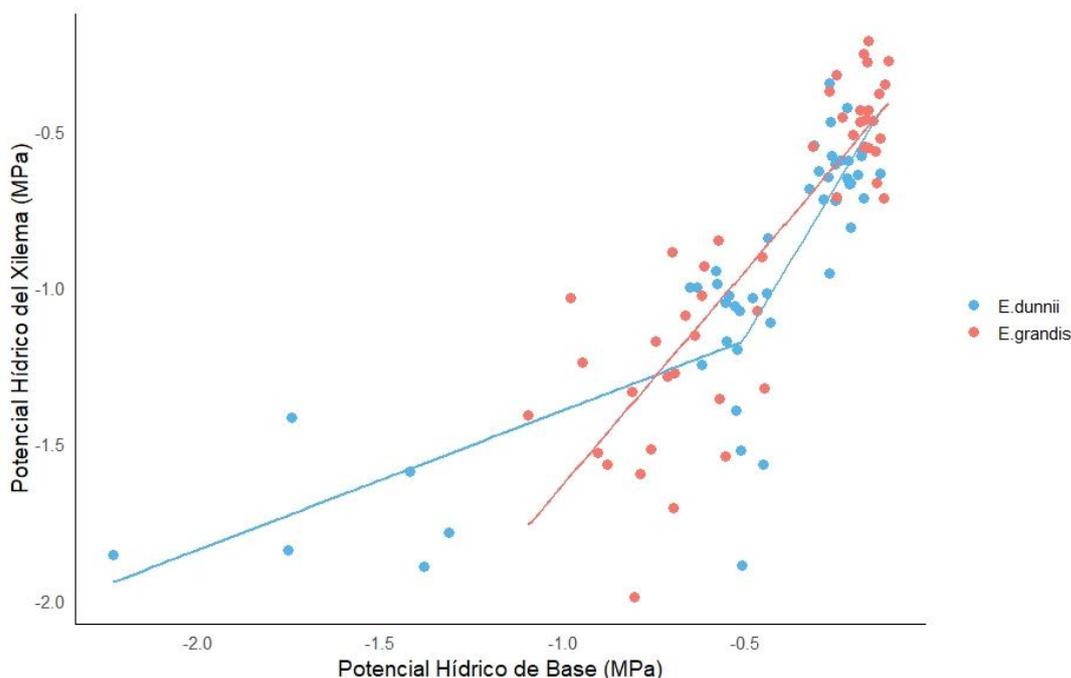
Por otro lado, durante la estación estival, los potenciales hídricos fueron más negativos que los observados para el invierno, lo que indica un mayor nivel de estrés hídrico en las plantas y una menor disponibilidad de agua en el suelo para esta estación, sumado a la alta demanda hídrica. No obstante, en esta estación no se observaron diferencias significativas entre ambas especies.

En el verano se presentaron diferencias significativas; en particular al igual que en el PHB, el bloque 1 muestra diferencias significativas con el bloque 3. No obstante, en este caso, el bloque 2 no evidencia diferencias significativas ni con el bloque 1 ni con el

bloque 3, situándose como un valor intermedio con características similares a ambos bloques. Al observar los potenciales hídricos durante el invierno, al igual que en los PHB, no se detectan diferencias significativas entre los tres bloques, lo cual coincide con lo ya explicado anteriormente (ver Apéndice E, Figura E3). Por último, se presenta el gráfico de regresión lineal que relaciona el PHX con el PHB, con el propósito de analizar la interacción y la correlación existente entre ambos parámetros (Figura 15).

### Figura 15

Potencial Hídrico del Xilema (PHX) en función del Potencial Hídrico de Base (PHB)



Nota. ( $p$ -valor  $< 0.05$ ).  $n=96$ . *E. grandis*:  $R^2 = 0.80$  Ecuación:  $PHX = -0,6 + 0,65 \cdot PHB$   
*E. dunnii*:  $R^2 = 0.751$  Ecuación:  $PHX = -0,9 + 0,445 \cdot PHB$ , si  $PHB < -0,5$   
 $PHX = -0,9 + 0,445 \cdot PHB + 1,488 - (PHB - 0,5)$ , si  $PHB \geq -0,5$

A medida que el PHB aumenta (es menos negativo), el PHX también incrementa, indicando una interacción directa entre ambos parámetros en respuesta a la disponibilidad de agua (Figura 15). En dicha figura se muestra el comportamiento para ambas especies, donde se observa que *E. grandis* tiene una mayor concentración de los datos, mientras que para *E. dunnii* existe una mayor dispersión de los mismos. A medida que el suelo se seca (PHB más negativo), el PHX también se vuelve más negativo, lo que permite mantener el flujo de agua hacia las hojas. Los potenciales hídricos bajos ponen al sistema de transporte hidráulico de la planta bajo estrés, ya que la embolia del xilema y los procesos análogos en los tejidos extraxilares tienden a aumentar la resistencia hidráulica a lo largo del continuo suelo-planta-atmósfera (Sperry et al., 2003).

Si los potenciales hídricos se vuelven demasiado bajos, el transporte de agua puede cesar por completo, lo que en última instancia conduce a la desecación completa y

la muerte de la planta (Choat et al., 2012; Tyree & Sperry, 1988; Tyree & Zimmermann, 2002). Esta relación lineal sugiere cómo las plantas ajustan su sistema hidráulico para regular el transporte de agua desde el suelo hacia las hojas, equilibrando las demandas de transpiración con la disponibilidad de agua en el suelo. Este mecanismo es fundamental para la adaptación de las plantas a diferentes condiciones hídricas.

La diferencia entre los valores PHX y PHB para cada estación, confirma una estrategia adaptativa frente al estrés hídrico estacional. Similarmente, Costa e Silva et al. (2004) observaron que plantas de *Eucalyptus* bajo estrés mostraron pausas significativas de  $-1,71$  a  $-2,43$  MPa PHB y mínimos de hasta  $-3,26$  MPa a mediodía, lo que refuerza la validez fisiológica de las tendencias observadas en este trabajo.

#### 4.1.5. Conductancia estomática

Para estudiar la conductancia estomática, se realizó un análisis de varianza, el cual reveló que existen diferencias significativas únicamente para los efectos de Especie y Estación y la interacción entre ambos factores (ver Apéndice F). Se obtuvo que *E. grandis* presenta niveles promedio de conductancia estomática más altos, con una media de aproximadamente  $222 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durante el verano y de  $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en invierno. En el caso de *E. dunnii*, la conductancia promedio alcanzó los  $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en verano y aumentó a  $331 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en invierno. Esta diferencia puede atribuirse a los mecanismos fisiológicos de *E. grandis* para hacer frente al estrés hídrico, como el arreglo casi vertical de las hojas, la alta sensibilidad estomática, un sistema radical profundo y la capacidad de ajuste osmótico que le permite mantener la turgencia de las hojas (FAO, 1981). Por su parte, los menores valores de conductancia estomática registrados para *E. dunnii* podrían estar relacionados con su marcada heteroblastia. Héroult et al. (2013) señalan que esta especie, en su etapa juvenil, presenta hojas hipostomatosas, con estomas solo en la superficie inferior, lo que limita el intercambio gaseoso. En etapas más avanzadas, desarrolla hojas anfistomatosas, con estomas en ambas caras, lo que favorece una mayor transpiración y fotosíntesis. Por lo tanto, es posible que durante la fase juvenil, la morfología foliar esté restringiendo la conductancia estomática.

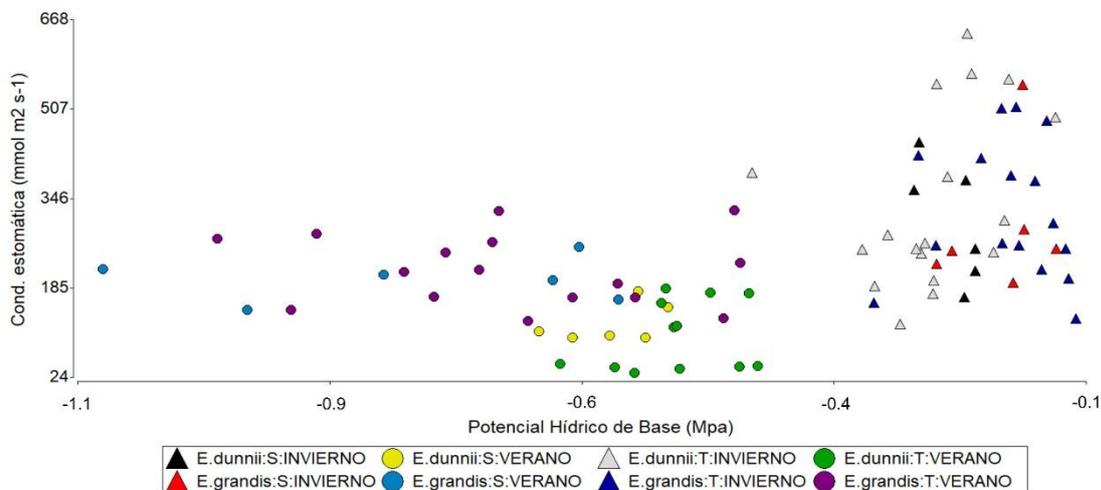
Oberschelp et al. (2007) realizaron un estudio en el que se observaron diferencias significativas en las características de la madera entre *E. grandis* y *E. dunnii*, lo que influye en su comportamiento frente a distintas condiciones hídricas. Dichos autores analizaron la anatomía y densidad de la madera en diferentes especies de *Eucalyptus*, destacando que una mayor densidad se asocia con una mayor resistencia a la cavitación, lo que mejora la tolerancia a la sequía. En este estudio, *E. grandis* presentó menores valores de densidad y dureza, con un bajo índice de rajado y menos defectos en las tablas. Por otro lado, *E. dunnii* mostró mayores valores de densidad y dureza, pero con un alto índice de rajado y más defectos en las tablas. *E. grandis*, es una especie con alta vulnerabilidad a la cavitación, se caracteriza por una alta fracción de lúmenes, distribuida en muchos vasos de diámetro grande, un menor porcentaje de traqueidas vasicéntricas y radios y menor densidad de la madera (Monteoliva et al., 2015).

En cuanto a la conductancia estomática evaluada en los distintos tratamientos, no se detectaron diferencias significativas entre ellos. Respecto a los arreglos espaciales, los promedios fueron muy similares:  $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para el arreglo en triple fila y  $212 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para el de fila simple. Sin embargo, se identificaron diferencias significativas entre estaciones. Durante el verano, la conductancia estomática fue notablemente menor, con un promedio de  $156 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , en comparación con el invierno, donde alcanzó los  $340 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Este patrón puede explicarse por las diferencias en la disponibilidad hídrica y en la demanda evaporativa entre estaciones. Según Kallarackal y Somen (1997), el eucalipto responde al estrés hídrico manteniendo el potencial hídrico de las hojas en niveles relativamente altos y cerrando los estomas para minimizar la pérdida de agua, lo que a su vez reduce la tasa de fotosíntesis. Este comportamiento es coherente con las condiciones del verano, cuando la disponibilidad de agua en el suelo fue menor y la demanda evaporativa es mayor. En estas circunstancias, las plantas tienden a cerrar sus estomas, reduciendo la pérdida de agua por transpiración, especialmente durante las horas de mayor temperatura.

En contraste, durante el invierno, la menor temperatura, la mayor disponibilidad de agua en el suelo debido a las lluvias de los meses previos, y la baja demanda evaporativa favorecen la apertura estomática y, en consecuencia, una mayor conductancia. Héroult et al. (2013) explican que tanto *E. dunnii* como *E. grandis* muestran diferencias significativas entre los datos obtenidos en condiciones de buen riego y de sequía. Específicamente, *E. dunnii*, mostró una reducción significativa en la conductancia estomática bajo condiciones de sequía, lo que indica una mayor sensibilidad al estrés hídrico. Por otro lado, *E. grandis*, presentó una reducción en la conductancia estomática, aunque menos pronunciada que *E. dunnii*. Estas diferencias sugieren que *E. grandis* podría tener una mayor tolerancia al déficit hídrico en comparación con *E. dunnii*, coincidiendo con Merchant et al. (2007), donde señalan que *E. grandis* tolera mejor la sequía que el exceso de agua en el suelo, ya que este último puede generar estrés por déficit de oxígeno, inhibiendo el intercambio gaseoso debido al cierre de los estomas. En la Figura 16 se muestra la conductancia estomática en función del PHB, con el objetivo de analizar la interacción y correlación entre ambos.

**Figura 16**

Conductancia estomática en función del Potencial Hídrico de Base



Nota. (p-valor < 0.05). n=96.

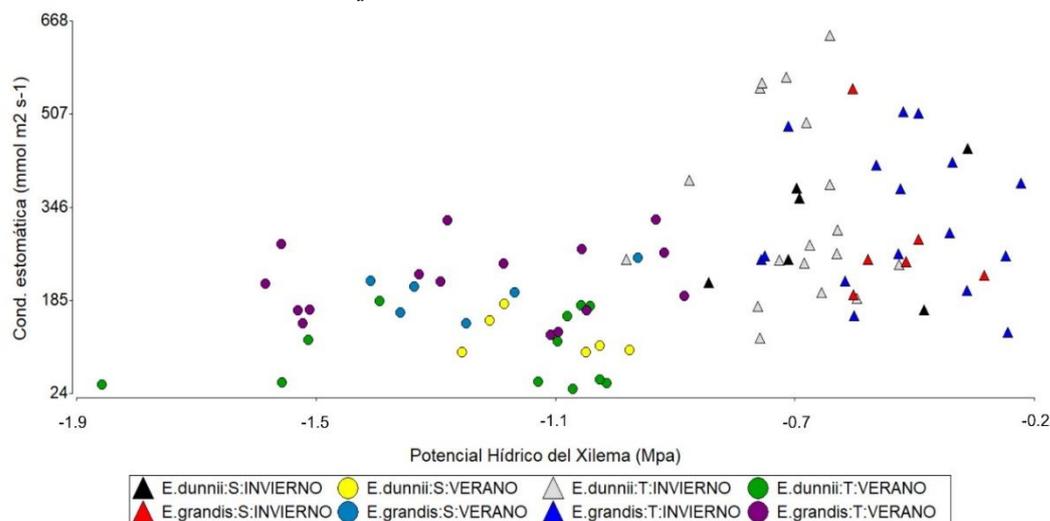
En la Figura 16 se puede observar que en condiciones de suelo húmedo (potenciales hídricos mayores) la planta tiende a mantener conductancias estomáticas más altas para maximizar así la realización de fotosíntesis e intercambio gaseoso. A medida que el potencial hídrico se vuelve más negativo, la planta disminuye la conductancia estomática porque comienza a sufrir mayor estrés, y comienza a cerrar sus estomas para reducir la pérdida de agua. Existen varios mecanismos por los cuales las plantas pueden regular el transporte de agua para evitar fallas hidráulicas, incluidos ajustes estructurales y fisiológicos (Maseda & Fernández, 2006). No obstante, en períodos de tiempo breves, el cierre de los estomas representa el mecanismo principal mediante el cual las plantas regulan la pérdida de agua por transpiración, permitiendo así conservar los potenciales hídricos dentro de rangos aceptables. De acuerdo con Larcher (2004), a medida que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo, la tasa de transpiración también disminuye debido al cierre estomático. Este mecanismo constituye una de las principales defensas de las plantas frente a la pérdida excesiva de agua y la eventual desecación (Barlow, 1986).

En la Figura 16 se observa que *E. dunnii* presenta una concentración de datos relativamente estrecha tanto en verano como en invierno. En los registros de verano para el arreglo en triple fila (círculos verdes), se aprecia que cuando el potencial hídrico desciende por debajo de -0,5 MPa, la conductancia estomática no supera los 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Esto indica que, a partir de ese umbral, los estomas comienzan a cerrarse para reducir la pérdida de agua por transpiración, lo que genera una disminución en la conductancia. Por el contrario, en invierno (triángulos grises), los potenciales hídricos son menos negativos, y se observa una respuesta positiva de la conductancia, a medida que mejora el potencial hídrico, también lo hace la conductancia estomática. En general, para esta especie, los valores de potencial hídrico se distribuyen entre -0,15 y -0,4 MPa, mientras que los de conductancia estomática varían entre 30 y 650  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . En contraste, *E. grandis* muestra una mayor dispersión en los datos de PHB, con valores que abarcan desde -0,1 MPa hasta -1,1 MPa, y una amplitud de conductancia estomática que va de

130 a 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tomando ambas estaciones. Esta variabilidad indica una mayor flexibilidad fisiológica en *E. grandis* respecto de *E. dunnii*, lo que sugiere una mejor capacidad de adaptación a un rango más amplio de condiciones hídricas. En otras palabras, *E. grandis* parece capaz de mantener una conductancia estomática activa incluso bajo condiciones de mayor estrés hídrico, así como de responder favorablemente cuando la disponibilidad de agua es mayor (potenciales menos negativos). A continuación, en la Figura 17 se presenta la gráfica de conductancia estomática en función del PHX para cada una de las especies, con el objetivo de analizar los patrones específicos de cada una y evaluar los efectos de forma individual.

**Figura 17**

*Conductancia estomática en función del Potencial Hídrico del Xilema*



Nota. (p-valor < 0.05). n= 96.

La Figura 17 evidencia una concentración de datos en los rangos de potencial hídrico entre -0,2 MPa y -0,7 MPa, donde los niveles de conductancia estomática son mayores. Esto se atribuye a una mayor disponibilidad de agua, lo que favorece una mayor apertura de los estomas. En contraste, para los potenciales comprendidos entre -0,7 MPa y -1,5 MPa, los niveles de conductancia disminuyen considerablemente, como resultado de una menor disponibilidad de agua, un mayor estrés hídrico y, por ende, un cierre más pronunciado de los estomas. En el caso de *E. grandis*, los datos presentan una distribución heterogénea, a diferencia de *E. dunnii*, que muestra una mayor concentración de datos. Asimismo, para los valores de potencial hídrico más negativos, tanto de base como de xilema, la mayoría de los datos registran conductancias estomáticas menores. Esto podría estar relacionado con un exceso de agua en el suelo. Este exceso puede generar estrés por déficit de oxígeno, lo que inhibe el intercambio gaseoso debido al cierre de los estomas. Por último, en cuanto al rango de conductancia estomática para *E. grandis*, Whitehead y Beadle (2004) señalan que los valores se encuentran entre 280 y 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , rangos que coinciden con los observados en el presente trabajo. En cuanto a *E. dunnii*, en el estudio realizado por Héroult et al. (2013) donde se midió la conductancia de dicha especie bajo condiciones de buen riego y sequía, obtuvieron que en condiciones de buen riego la especie obtuvo valores de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mientras que en condiciones de sequía los valores disminuyeron a 250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

## 5. CONCLUSIONES

El estudio comparativo entre *Eucalyptus grandis* y *E. dunnii* en un sistema silvopastoril permitió identificar diferencias relevantes en su desempeño durante las etapas iniciales de crecimiento. *E. grandis* demostró ser la especie más promisoría en este contexto, destacándose por su mayor crecimiento en altura y DAP, así como por una arquitectura de copa más elevada y reducida, lo que podría favorecer el desarrollo de la pastura. Este comportamiento fue especialmente notable bajo el arreglo de triple fila con callejones de 14 metros. En contraste, *E. dunnii* presentó un rendimiento inferior, particularmente en el arreglo de fila simple. Este resultado podría atribuirse, en este tipo de arreglos, a la competencia con la pastura, al microclima o a rasgos inherentes de la especie.

Se observó que *E. dunnii* presentó potenciales hídricos ligeramente más negativos que *E. grandis* en ambas estaciones, lo que posiblemente tenga una relación con la arquitectura de la copa. Ya que una mayor área foliar o una copa más densa puede generar una demanda transpiratoria superior. Esta mayor demanda repercutiría en un menor potencial hídrico en la planta, necesario para sostener el flujo de agua desde el suelo.

Los valores reducidos de conductancia estomática en *E. dunnii* son atribuibles a su marcada heteroblastia ya que se trata de plantas de aproximadamente un año y medio de edad. A esta edad juvenil, las hojas son hipostomáticas (estomas solo en el envés), lo que limita el intercambio gaseoso y, consecuentemente, la conductancia estomática.

Es importante señalar que los resultados obtenidos reflejan un momento temprano del sistema, medido en dos estaciones contrastantes del año. Por tanto, los efectos del tipo de arreglo (fila simple vs. triple fila) podrían intensificarse a medida que el sistema evolucione y aumente la competencia entre árboles, generando diferencias estructurales más marcadas en el dosel. Se recomienda el seguimiento del ensayo en el tiempo para evaluar la dinámica de estas interacciones.

Evaluar el comportamiento de las especies bajo diferentes arreglos constituye una información clave para el diseño y éxito de sistemas silvopastoriles. Los distintos arreglos podrían modificar las relaciones de competencia entre el componente forestal y el herbáceo, afectando directamente las condiciones de crecimiento de los árboles y las pasturas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, M. N., & Cortelezzi, A. (2020). *Empleo en el sector agropecuario 2019*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/empleo-sector-agropecuario-2019/empleo-sector-agropecuario-2019>
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7–22.
- Aussenac, G., & Granier, A. (1988). Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(1), 100–105.
- Barlow, E. W. R. (1986). The water relations of expanding leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(1), 45–58.
- Benegas, L., Ilstedt, U., Roupsard, O., Jones, J., & Malmer, A. (2014). Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 183, 185–196.
- Berro, M. (1975). *La agricultura colonial*. MEC.
- 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 of Australia* (5<sup>th</sup> ed.). CSIRO.
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., Turnbull, J. W., & Kleinig, D. A. (1980). *Eucalyptus seed*. CSIRO.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4), 451–462.
- Brussa, C. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.
- Burner, D. M., Ashworth, A. J., Laughlin, K. F., & Boyer, M. E. (2018). Using SketchUp to simulate tree row azimuth effects on alley shading. *Agronomy Journal*, 110(1), 425–430.
- Bussoni, A., Juan, C., Fernández, E., Boscana, M., Cabbage, F., & Bentancur, O. (2015). Integrated beef and wood production in Uruguay: Potential and limitations. *Agroforestry Systems*, 89, 1107–1118.
- Campillo, C., Fortes, R., & Prieto, M. (2012). Solar radiation effect on crop production. En E. B. Babatunde (Ed.), *Solar radiation* (pp. 167–194). InTech. <https://www.intechopen.com/chapters/33351>
- Carámbula, M., & Piñeiro, D. (2006). La forestación en Uruguay: Cambio demográfico y empleo en tres localidades. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 63–73.

- Carrasco Alarcón, J. J. A. (1999). Modelación del efecto de borde en un rodal adulto de *Pinus radiata* D. Don [Trabajo final de grado, Universidad de Concepción]. Repositorio Portal Tesis UdeC. <https://repositorio.udec.cl/handle/11594/8674>
- Castillo, M. S., Tiezzi, F., & Franzluebbers, A. J. (2020). Tree species effects on understory forage productivity and microclimate in a silvopasture of the Southeastern USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, Artículo e106917. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106917>
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S. J., Feild, T. S., Gleason, S. M., Hacke, U. G., Jacobsen, A. L., Lens, F., Maherali, H., Martínez-Vilalta, J., Mayr, S., Mencuccini, M., Mitchell, P. J., Nardini, A., Pittermann, J., ... Zanne, A. E. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491(7426), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature11688>
- Costa e Silva, F., Shvaleyeva, A., Maroco, J., Almeida, M. H., Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (2004). Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. *Tree Physiology*, 24(10), 1165–1172. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1165>
- Crombie, D. S., Tipett, J. T., & Hill, T. C. (1988). Dawn water potential and root depth of trees and understorey species in southwestern Australia. *Australian Journal of Botany*, 36(6), 621–631.
- Cubbage, F., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemeyer, E., Pachas, A. N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Frey, G. E., Dube, F., Lopes de Silva, M., Stevenson, H., Hamilton, J., Hubbard, W. (2012). Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems*, 86(3), 303–314. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9482-z>
- D'Ambrosio, N. D., Arena, C., & De Santo, A. V. (2006). Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. *Plant, Cell & Environment*, 55(3), 248–257.
- De Las Rivas, J. (2008a). La luz y el aparato fotosintético. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de la fisiología vegetal* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 165–190). McGraw-Hill Interamericana.
- De Las Rivas, J. (2008b). Utilización de la energía luminosa en la fotosíntesis. En J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de la fisiología vegetal* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 191–210). McGraw-Hill Interamericana.
- DeShazer, J. A., Hahn, G. L., & Xin, H. (2009). Basic principles of the thermal environment and livestock energetics. En J. A. DeShazer (Ed.), *Livestock energetics and thermal environment management* (pp. 1–18). American Society of Agricultural and Biological Engineers. [https://www.researchgate.net/profile/Hongwei-Xin/publication/267704755\\_Chapter\\_1\\_Basic\\_Principles\\_of\\_the\\_Thermal\\_Environment\\_and\\_Livestock\\_Energetics/links/546297100cf2837efdaffd37/Chapter-1-Basic-Principles-of-the-Thermal-Environment-and-Livestock-Energetics.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hongwei-Xin/publication/267704755_Chapter_1_Basic_Principles_of_the_Thermal_Environment_and_Livestock_Energetics/links/546297100cf2837efdaffd37/Chapter-1-Basic-Principles-of-the-Thermal-Environment-and-Livestock-Energetics.pdf)

- Dibala, R., Jose, S., Gold, M., Hall, J. S., Kallenbach, R., & Knapp, B. (2021). Tree density effects on soil, herbage mass and nutritive value of understory *Megathyrus maximus* in a seasonally dry tropical silvopasture in Panama. *Agroforestry Systems*, 95(3), 741-753. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00628-4>
- Dirección General de Recursos Naturales. (2020). *Descripción de los Grupos CO.N.E.A.T.* MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat>
- Dirección General Forestal. (2021). *Vigésima primera encuesta de viveros forestales.* MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/informe%20final.pdf>
- Dirección General Forestal. (2023). *Estadísticas Forestales 2023.* MGAP. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-07/DGF%20Boletin%20Estadistico\\_2023.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-07/DGF%20Boletin%20Estadistico_2023.pdf)
- Djimde, M., Torres, F., & Migongo-Bake, W. (1989). *Climate, animal and agroforestry.* En W. E. Reifsnyder & T. O. Darnhofer (Eds.), *Meteorology and agroforestry* (pp. 463–470). ICRAF. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122507/records/647753aaa3fd11e4303973ab>
- Donner, B., & Running, S. (1986). Water Stress Response After Thinning Pinus contorta Stands in Montana. *Forest Science*, 32(3), 614–625.
- Donoso, S., & Ruiz, F. (2001). Potencial hídrico y crecimiento de *Eucalyptus globulus* plantado a diferentes espaciamientos en la provincia de Huelva, España. *Bosque*, 22(1), 37–44. <https://doi.org/10.4206/bosque.2001.v22n1-04>
- Fassbender, H. W. (1993). *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales* (2ª ed.). CATIE; GTZ.
- Fedrigo, 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)
- Feldhake, C. M., & Belesky, D. P. (2009). Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. *Agroforestry Systems*, 75, 189–196. <https://www.researchgate.net/publication/43275051>
- Fernández, M. (2008). Utilidad de parámetros hídricos de árbol para la selección clonal de *Eucalyptus globulus* Labill. frente al ataque por larvas de *Phoracantha* spp. *Boletín Informativo CIDEU*, (6–7), 57–68. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3054654>

- Ferrere, P., Palazzini, D., Lupi, A. M., & Pathauer, P. (2022). Ecuaciones para la estimación de altura y volumen en plantaciones de *Eucalyptus dunnii* en el norte de la región pampeana. *Revista de las Jornadas Forestales de Entre Ríos*, 92–95. [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/13630/INTA\\_CIRN\\_InstitutodeSuelos\\_Lupi\\_Ecuaciones\\_para\\_la\\_estimacion\\_de.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/13630/INTA_CIRN_InstitutodeSuelos_Lupi_Ecuaciones_para_la_estimacion_de.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C<sub>3</sub> plants. *Plant Biology*, 6(3), 269–279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
- 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>
- Google. (2024). [Bañado de Medina, Cerro Largo, Uruguay. Perfil de elevación. Imagen satelital]. Recuperado el 3 de febrero de 2024, de <https://earth.google.com/web/@32.38956413,-54.44687721,172.12871293a,1000.14828405d,30.00000005y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoICJ7cq-IFEAA>
- 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>
- Hérault, A., Lin, Y.-S., Bourne, A., Medlyn, B. E., & Ellsworth, D. S. (2013). Optimal stomatal conductance in relation to photosynthesis in climatically contrasting *Eucalyptus* species under drought. *Plant, Cell & Environment*, 36(2), 262–274. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02570.x>
- Ibrahim, M. A., & Pezo Quevedo, D. (1998). *Sistemas silvopastoriles*. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4024>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2024). *Banco de datos agroclimáticos*. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Jiménez Otárola, F., Muschler, R., & Köpsell, E. (2001). *Funciones y aplicaciones de los sistemas agroforestales*. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2202>
- Jones, H. G. (1998). Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 49(Spe.), 387–398. <https://www.jstor.org/stable/23695972>
- Kallarackal, J., & Somen, C. K. (1997). An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. *Forest Ecology and Management*, 95(1), 53–61. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00004-2)
- Katul, G., Leuning, R., & Oren, R. (2003). Relationship between plant hydraulic and biochemical properties derived from a steady-state coupled water and carbon transport model. *Plant, Cell & Environment*, 26(3), 339–350. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00965.x>

- Kelly, S., Chippendale, G. M., & Johnston, R. D. (1983). *Eucalypts* (Vol. 1). Nelson. <https://www.amazon.com/Eucalypts-One-Stan-Kelly/dp/017006221X>
- Kozlowski, T. T., Kramer, P. J., & Pallardy, S. G. (1990). *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02706-8>
- Kramer, P. J., & Boyer, J. S. (1995). *Water relations of plants and soils*. Academic Press. <https://shop.elsevier.com/books/water-relations-of-plants-and-soils/kramer/978-0-12-425060-4>
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology* (2<sup>nd</sup> ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>
- Larcher, W. (2004). *Ecofisiología vegetal* (2<sup>a</sup> ed.). Omega.
- Ley N.º 13.723: *Interés Nacional: Recursos y economía forestal*. (1968). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/13723-1968>
- Ley N.º 15.939: *Ley forestal: Fondo forestal: Recursos naturales*. (1987). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/15939-1987>
- Lopes, C. M., Paciullo, D. S. C., Araújo, S. A. C., Gomide, C. A. M., Morenz, M. J. F., & Villela, S. D. J. (2017). Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(1), 225–233. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>
- Maseda, P. H., & Fernández, R. J. (2006). Stay wet or else: Three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *Journal of Experimental Botany*, 57(15), 3963–3977. <https://academic.oup.com/jxb/article/57/15/3963/545858>
- Merchant, A., Callister, A., Arndt, S., Tausz, M., & Adams, M. (2007). Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. *Annals of Botany*, 100(7), 1507–1515. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm234>
- Monteoliva, S., Barotto, A. J., & Fernández, M. E. (2015). Anatomía y densidad de la madera en *Eucalyptus*: variación interespecífica e implicancia en la resistencia al estrés abiótico. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114(2), 209–217.
- Monteoliva, S., & Hernández, M. (2014). Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii*: parámetros dendrométricos y anatomía de la madera. *Revista Arvore*, 38(4), 645–653.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654–1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Nair, P. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3, 97–128. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00122638>

- Navas Panadero, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista Medicina Veterinaria*, (19), 113–122. <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a10.pdf>
- Nutto, L., & Touza Vázquez, M. C. (2006). Modelos de producción de madera sólida en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de Galicia. *Boletín del CIDEU*, 2, 37–50. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2258296.pdf>
- Oberschelp, G. P. J., Marco, M. A., Sanchez Acosta, M. M., & Mastrandrea, C. A. (2007, 3-5 de julio). *Propiedades de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, E. dunnii Maiden y E. saligna Sm. relacionadas a usos sólidos de alto valor* [Contribución]. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales, Buenos Aires. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/14623>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario Estadístico Agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1981). *El eucalipto en la repoblación forestal*. <https://www.fao.org/4/ac459s/ac459s.pdf>
- Paciullo, D. S. C., Pires, M. F. A., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Maurício, R. M., Gomide, C. A. M., & Silveira, S. R. (2014). Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8(8), 1264–1271. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>
- Pallardy, S. G. (2008). *Transpiración y balance hídrico de las plantas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pereira, J. S., Tenhunen, J. D., Lange, O. L., Beyschlag, W., Meyer, A., & David, M. M. (1986). Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(2), 177–184. <https://doi.org/10.1139/x86-033>
- Pothier, D., & Margolis, H. (1990). Changes in the water relations of balsam fir and white birch saplings after thinning. *Tree Physiology*, 6(4), 371–380. <https://doi.org/10.1093/treephys/6.4.371>
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: Growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3), 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>
- Poynton, R. J. (1979). *Tree planting in Southern Africa: Vol. 2. The Eucalypts*. Department of Forestry.

- Ren, S.-Q., Chen, J.-B., Deng, Z.-Y., Guo, D.-Q., Liu, Y., Huang, M.-J., Meng, J.-L., Xiao, W.-F., & Xiang, D.-Y. (2015). Effects of pruning on growth dynamic and veneer quality of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 37(3), 126–132. <http://j.bjfu.edu.cn/en/article/doi/10.13332/j.1000-1522.20140228>
- Reynolds, S. G. (1995). *Pasture-cattle-coconut systems*. FAO. <https://www.fao.org/4/af298e/af298e00.htm>
- Riella, A., & Ramírez, J. (2008). Población rural y forestación: Estudio de la dinámica poblacional en los territorios forestales del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(2), 85–98. <https://doi.org/10.31285/AGRO.12.738>
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2000). *Fisiología de las plantas* (3 Vols.). Ediciones Paraninfo.
- Sancho, L., 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: Informe final*. MA; 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)
- Santos, K. F. dos, Ludvichak, A. A., Queiro, T. B., Momolli, D. R., Garlet, C., Schumacher, M. V., & Araújo, E. F. de. (2021). Quantification of litterfall in different *Eucalyptus* genotypes in São Gabriel, RS, Brazil. *Idesia*, 39(2), 17–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200017>
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Soust, P. (2012). A 25 años de la aprobación de la Ley N.º 15.939 (ley forestal). En *Anuario OPYPA 2012* (pp. 167–175). MGAP. <https://www2.mgap.gub.uy/opypapublicaciones/anuarios/anuario2012/material/pdf/14.pdf>
- Sperry, J. S., Hacke, U. G., Oren, R., & Comstock, J. P. (2003). Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 251–263. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00799.x>
- 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. (2006). *Fisiología vegetal* (3ª ed., 2 vols.). Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6<sup>th</sup> ed.). Sinauer Associates.

- Tenhunen, J. D., Pearcy, R. W., & Lange, O. L. (1987). Diurnal variations in leaf conductance and gas exchange in natural environments. En E. Zeiger, G. D. Farquhar, & I. R. Cowan (Eds.), *Stomatal function* (pp. 323–351). Stanford University Press.
- Tewari, V. P., & Dagar, J. C. (2017). Introduction. En J. C. Dagar, A. Arunachalam, & A. K. Singh (Eds.), *Agroforestry: Anecdotal to modern science* (pp. 1–11). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_1)
- Tyree, M. T., & Sperry, J. S. (1988). Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress?: Answers from a model. *Plant Physiology*, 88(3), 574–580. <https://doi.org/10.1104/pp.88.3.574>
- Tyree, M. T., & Zimmermann, M. H. (2002). *Xylem structure and the ascent of sap* (2<sup>nd</sup> ed.). Springer.
- Uruguay XXI. (2024). *Informe anual comercio exterior: Celulosa, primer producto de exportación*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/db9efbc27476e87964777b14ad91155ba79bcd39.pdf>
- van Dijk, K., & Savenije, H. (2006). *Hacia estrategias nacionales de financiamiento para el manejo forestal sostenible en América Latina: Síntesis del estado actual y experiencias de algunos países*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/bitstream/e01fb152-2a04-4556-b5e6-7408dc1b5a64/download>
- Vergara, N. T. (1985). Agroforestry systems: A primer. *Unasyuva*, (147). <https://www.fao.org/4/r1340e/r1340e05.htm>
- Watson, D. J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11(1), 41–76. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083148>
- Weston, R. H. (1982). Animal factors affecting voluntary feed intake. En J. B. Hacker (Ed.), *Nutritional limits to animal production from pastures* (pp. 183–198). CAB International; CSIRO. [https://books.google.com.uy/books/about/Nutritional\\_Limits\\_to\\_Animal\\_Production.html?id=C0wjAQAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.uy/books/about/Nutritional_Limits_to_Animal_Production.html?id=C0wjAQAAMAAJ&redir_esc=y)
- Whitehead, D., & Beadle, C. L. (2004). Physiological regulation of productivity and water use in eucalypts: A review. *Forest Ecology and Management*, 193(1–2), 113–140. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.026>
- Wilson, J. R., & Ludlow, M. M. (1991). The environment and growth potential of pastures under plantations. En H. M. Shelton & W. W. Stür (Eds.), *Forages for plantation crops* (pp. 10–24). ACIAR.

7. APÉNDICES**Apéndice A**

ANOVA para DAP y Altura Total en función de la Especie y Arreglo

**Cuadro A1***Análisis de la Varianza para Altura (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.91	11	1.36	3.84	0.0002
<b>Especie</b>	<b>1.83</b>	<b>1</b>	<b>1.83</b>	<b>5.19</b>	<b>0.0253</b>
<b>Fila</b>	<b>2.54</b>	<b>1</b>	<b>2.54</b>	<b>7.20</b>	<b>0.0088</b>
Bloque	0.23	2	0.12	0.33	0.7221
Especie*Fila	0.03	1	0.03	0.10	0.7554
Especie*Bloque	0.99	2	0.50	1.41	0.2499
Fila*Bloque	4.88	2	2.44	6.92	0.0017
Especie*Fila*Bloque	1.98	2	0.99	2.81	0.0661
Error	29.62	84	0.35		
Total	44.53	95			

**Cuadro A2***Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.24106**Error: 0.3527 gl: 84*

Especie	Medias	n	E.E.	
E.grandis	5.19	48	0.10	A
E.dunnii	4.87	48	0.10	B

*Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Cuadro A3**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27836*

*Error: 0.3527 gl: 84*

Fila	Medias	n	E.E.	
T	5.22	72	0.07	A
S	4.84	24	0.12	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A4**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.51888*

*Error: 0.3527 gl: 84*

Especie	Fila	Medias	n	E.E.		
E.grandis	T	5.36	36	0.10	A	
E.dunnii	T	5.08	36	0.10	A	B
E.grandis	S	5.03	12	0.17	A	B
E.dunnii	S	4.66	12	0.17		B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A5**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.70710*

*Error: 0.3527 gl: 84*

Fila	Bloque	Medias	n	E.E.			
T	2	5.51	24	0.12	A		
T	3	5.36	24	0.12	A	B	
S	1	5.12	8	0.21	A	B	C
S	3	4.80	8	0.21		B	C
T	1	4.79	24	0.12		B	C
S	2	4.61	8	0.21			C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A6**

Test: Bonferroni Alfa=0,05 DMS=1,19859

Error: 0,3527 gl: 84

Especie	Fila	Bloque	Medias	n	E.E.			
E.dunnii	S	2	4,25	4	0,30	A		
E.dunnii	S	3	4,40	4	0,30	A	B	
E.dunnii	T	1	4,58	12	0,17	A	B	
E.grandis	S	1	4,90	4	0,30	A	B	C
E.grandis	S	2	4,98	4	0,30	A	B	C
E.grandis	T	1	4,99	12	0,17	A	B	C
E.grandis	S	3	5,20	4	0,30	A	B	C
E.dunnii	T	3	5,25	12	0,17	A	B	C
E.dunnii	S	1	5,34	4	0,30	A	B	C
E.dunnii	T	2	5,42	12	0,17	A	B	C
E.grandis	T	3	5,47	12	0,17		B	C
E.grandis	T	2	5,61	12	0,17			C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A7***Análisis de la Varianza para DAP (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56.12	11	5.10	4.12	0.0001
<b>Especie</b>	<b>13.56</b>	<b>1</b>	<b>13.56</b>	<b>10.94</b>	<b>0.0014</b>
Fila	0.67	1	0.67	0.54	0.4639
Bloque	1.45	2	0.73	0.59	0.5587
Especie*Fila	1.43	1	1.43	1.15	0.2857
Especie*Bloque	5.40	2	2.70	2.18	0.1197
Fila*Bloque	23.20	2	11.60	9.36	0.0002
Especie*Fila*Bloque	8.65	2	4.32	3.49	0.0350
Error	104.10	84	1.24		
Total	160.22	95			

**Cuadro A8**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45190*

*Error: 1.2393 gl: 84*

Especie	Medias	n	E.E.	
E.grandis	6.46	48	0.19	A
E.dunni	5.60	48	0.19	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A9**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.97269*

*Error: 1.2393 gl: 84*

<u>Especie</u>	<u>Fila</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
E.grandis	S	6.51	12	0.32	A	
E.grandis	T	6.42	36	0.19	A	
E.dunnii	T	5.83	36	0.19	A	B
<u>E.dunnii</u>	<u>S</u>	<u>5.36</u>	<u>12</u>	<u>0.32</u>		<u>B</u>

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A10**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.14794*

*Error: 1.2393 gl: 84*

<u>Especie</u>	<u>Bloque</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
E.grandis	3	6.69	16	0.32	A	
E.grandis	2	6.66	16	0.32	A	
E.grandis	1	6.04	16	0.32	A	B
E.dunnii	1	5.87	16	0.32	A	B
E.dunnii	3	5.77	16	0.32	A	B
<u>E.dunnii</u>	<u>2</u>	<u>5.15</u>	<u>16</u>	<u>0.32</u>		<u>B</u>

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A11**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.32552*

*Error: 1.2393 gl: 84*

Fila	Bloque	Medias	n	E.E.			
T	2	6.74	24	0.23	A		
S	1	6.50	8	0.39	A	B	
T	3	6.23	24	0.23	A	B	C
S	3	6.23	8	0.39	A	B	C
T	1	5.40	24	0.23		B	C
S	2	5.08	8	0.39			C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro A12**

Test: Bonferroni Alfa=0,05 DMS=2,24687

*Error: 1,2393 gl: 84*

Especie	Fila	Bloque	Medias	n	E.E.			
E.dunnii	S	2	3,70	4	0,56	A		
E.dunnii	T	1	5,13	12	0,32	A	B	
E.grandis	T	1	5,68	12	0,32	A	B	C
E.dunnii	T	3	5,76	12	0,32	A	B	C
E.dunnii	S	3	5,78	4	0,56	A	B	C
E.grandis	S	1	6,40	4	0,56	A	B	C
E.grandis	S	2	6,45	4	0,56	A	B	C
E.dunnii	S	1	6,60	4	0,56		B	C
E.dunnii	T	2	6,61	12	0,32		B	C
E.grandis	S	3	6,68	4	0,56		B	C
E.grandis	T	3	6,71	12	0,32		B	C
E.grandis	T	2	6,88	12	0,32			C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

## Apéndice B

ANOVA para DAP y Altura Total en función del Tratamiento

### Cuadro B1

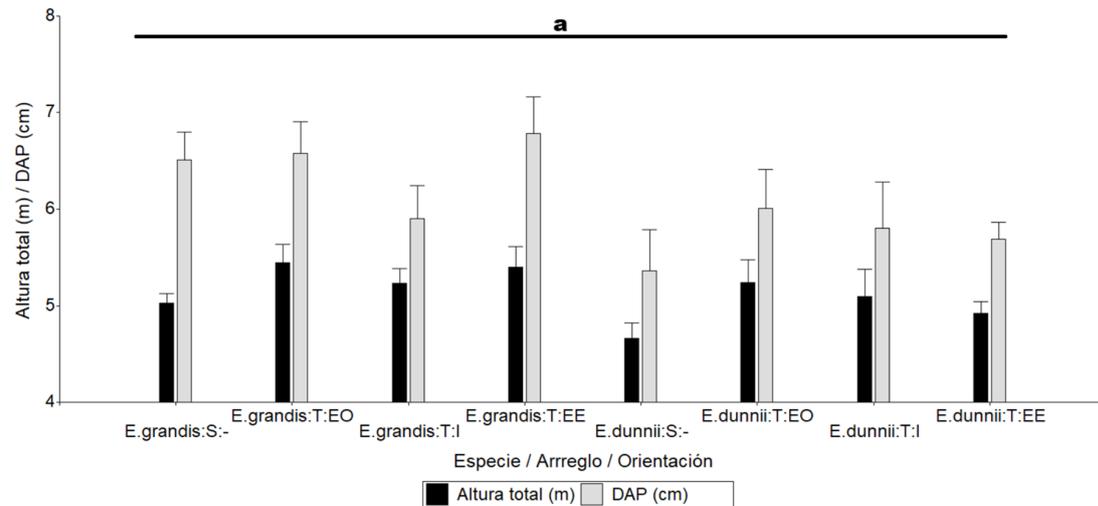
*Análisis de la Varianza para Altura (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.61	7	0.80	1.81	0.0946
Especie	2.12	1	2.12	4.78	0.0314
Fila	2.54	1	2.54	5.74	0.0187
Orientación	0.52	2	0.26	0.59	0.5579
Especie*Fila	0.03	1	0.03	0.08	0.7808
Especie*Orientación	0.40	2	0.20	0.46	0.6349
Error	38.92	88	0.44		
Total	44.53	95			

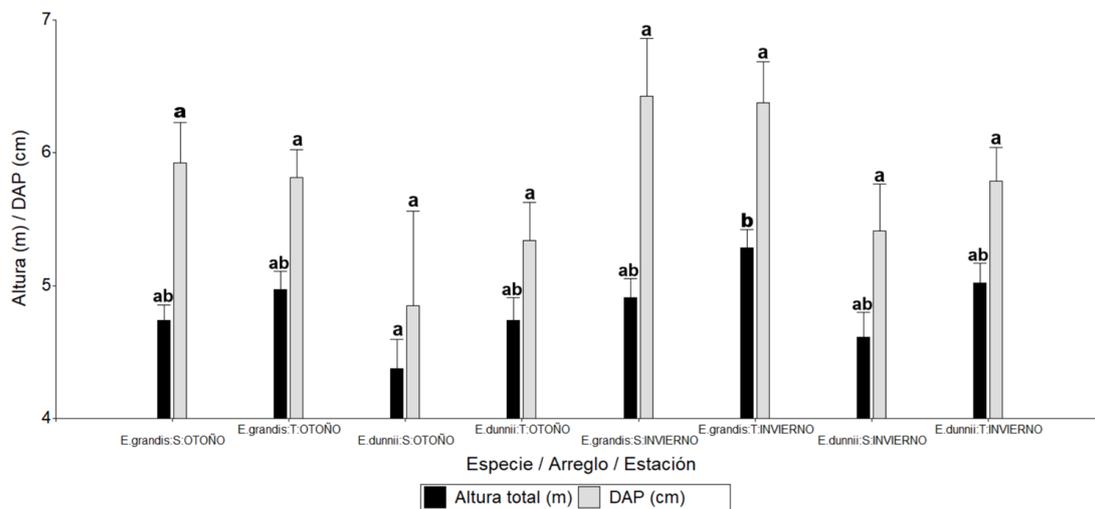
### Cuadro B2

*Análisis de la Varianza para DAP (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20.53	7	2.93	1.85	0.0881
Especie	12.69	1	12.69	7.99	0.0058
Fila	0.67	1	0.67	0.42	0.5173
Orientación	2.79	2	1.39	0.88	0.4195
Especie*Fila	1.43	1	1.43	0.90	0.3450
Especie*Orientación	2.95	2	1.48	0.93	0.3983
Error	139.70	88	1.59		
Total	160.22	95			

**Figura B1***DAP y Altura total en función del Tratamiento*

*Nota. Eucalyptus grandis (E. grandis), Eucalyptus dunnii (E. dunnii). Diámetro a la altura del pecho (DAP). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). Orientación: Externo Oeste (EO), Interno (I), Externo Este (EE). (p-valor < 0.05). n= 96.*

**Figura B2***DAP y Altura total en función de la Especie, Arreglo y Estación*

*Nota. Eucalyptus grandis (E. grandis), Eucalyptus dunnii (E. dunnii). Diámetro a la altura del pecho (DAP). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). (p-valor < 0.05). n= 96.*

## Apéndice C

### ANOVA % de Copa Viva

#### Cuadro C1

##### *Análisis de la Varianza para % de Copa Viva (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5607.79	7	801.11	56.36	<0.000
Especeie	4930.67	1	4930.67	346.89	<0.000
Fila	125.35	1	125.35	8.82	0.003
Orientación	204.78	2	102.39	7.20	0.001
Especeie*Fila	138.89	1	138.89	9.77	0.002
Especeie*Orientación	208.11	2	104.06	7.32	0.0011
Bloque	49.56	2	24.78	1.33	0.270
Estación	73.50	1	73.50	3.94	0.050
Error	1250.83	88	14.21		
Total	6858.63	95			

#### Cuadro C1

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.52937*

*Error: 14.2140 gl: 88*

Especeie	Medias	n	E.E.
E.dunnii	96.85	48	0.54 A
E.grandis	82.52	48	0.54 B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro C2**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.76597*

*Error: 14.2140 gl: 88*

Fila	Medias	n	E.E.	
S	91.67	24	0.77	A
T	89.03	72	0.44	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro C3**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.85017*

*Error: 14.2140 gl: 88*

Orientación	Medias	n	E.E.		
-	91.67	24	0.77	A	
EE	91.25	24	0.77	A	B
EO	88.67	24	0.77		B C
I	87.17	24	0.77		C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro C4**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.29110*

*Error: 14.2140 gl: 88*

Especie	Fila	Medias	n	E.E.	
E.dunnii	T	96.89	36	0.63	A
E.dunnii	S	96.75	12	1.09	A
E.grandis	S	86.58	12	1.09	B
E.grandis	T	81.17	36	0.63	C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro C5**

*Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3, 29854*

*Error: 19,0697 gl: 92*

<u>Especie</u>	<u>Estación</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E</u>	
E.grandis	INVIERNO	80,63	24	0,89	A
E.grandis	OTOÑO	84,42	24	0,89	B
E.dunnii	OTOÑO	96,71	24	0,89	C
<u>E.dunnii</u>	<u>OTOÑO</u>	<u>97,00</u>	<u>24</u>	<u>0,89</u>	<u>C</u>

*Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

**Cuadro C6**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.77920*

*Error: 14.2140 gl: 88*

<u>Especie</u>	<u>Orientación</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
E.dunnii	EO	97.00	12	1.09	A
E.dunnii	I	96.83	12	1.09	A
E.dunnii	EE	96.83	12	1.09	A
E.dunnii	-	96.75	12	1.09	A
E.grandis	-	86.58	12	1.09	B
E.grandis	EE	85.67	12	1.09	B
E.grandis	EO	80.33	12	1.09	C
<u>E.grandis</u>	<u>I</u>	<u>77.50</u>	<u>12</u>	<u>1.09</u>	<u>C</u>

*Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).*

### Cuadro C7

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.77920

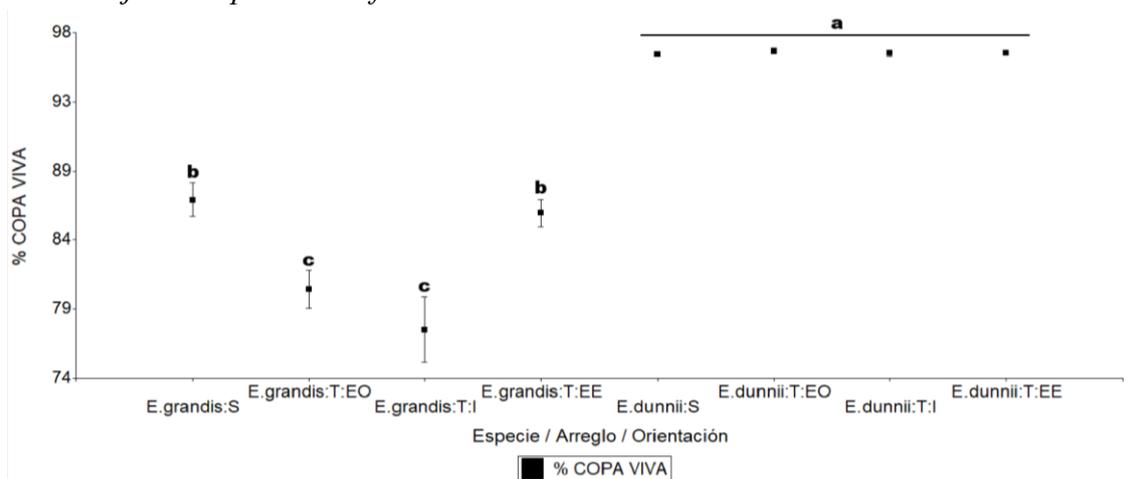
Error: 14.2140 gl: 88

Especie	Fila	Orientación	Medias n	E.E.	
E.dunnii	T	EO	97.00 12	1.09	A
E.dunnii	T	EE	96.83 12	1.09	A
E.dunnii	T	I	96.83 12	1.09	A
E.dunnii	S	-	96.75 12	1.09	A
E.grandis	S	-	86.58 12	1.09	B
E.grandis	T	EE	85.67 12	1.09	B
E.grandis	T	EO	80.33 12	1.09	C
E.grandis	T	I	77.50 12	1.09	C

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

### Figura C1

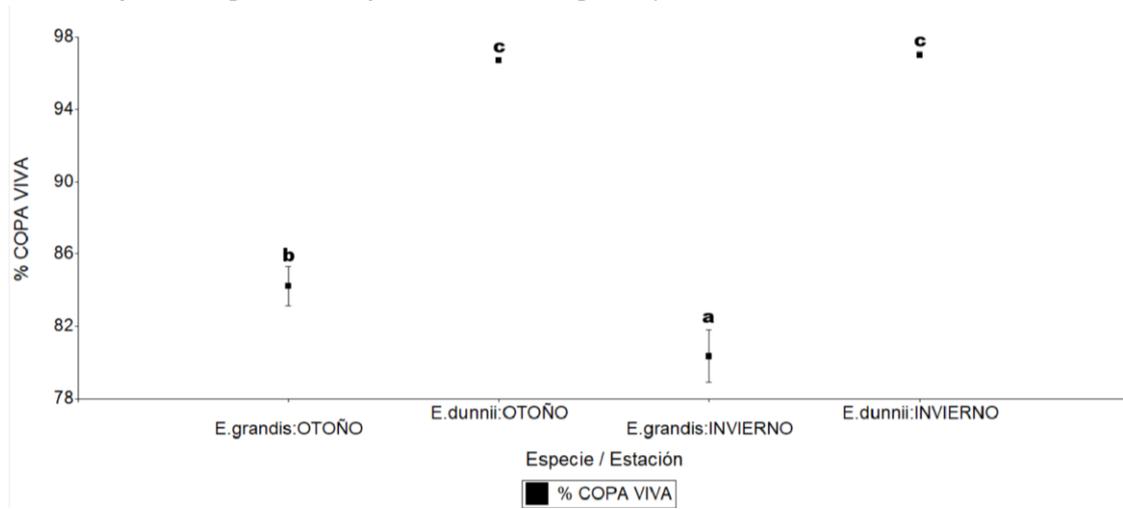
Porcentaje de Copa viva en función del Tratamiento



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Diámetro a la altura del pecho (DAP). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). Orientación: Externo Oeste (EO), Interno (I), Externo Este (EE). ( $p$ -valor  $< 0.05$ ).  $n=96$ .

**Figura C2**

Porcentaje de Copa viva en función de la Especie y Estación



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). (p-valor < 0.05). n= 96.

## Apéndice D

### ANOVA para Potencial Hídrico de Base

#### Cuadro D1

##### *Análisis de la Varianza para Potencial Hídrico de Base (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	366.78 23	15.95	1.08	0.392	
Especie	17.04 1	17.04	1.15	0.287	
Fila	6.09 1	6.09	0.41	0.523	
Bloque	118.82 2	59.41	4.01	0.022	
Orientación	9.98 2	4.99	0.34	0.715	
Estación	721.39 1	721.39	129.31	<0.0001	
Bloque*Estación	92.09 2	46.05	8.25	0.0005	
Especie*Fila	20.48 1	20.48	1.38	0.243	
Especie*Bloque	104.42 2	52.21	3.52	0.034	
Especie*Orientación	0.98 2	0.49	0.03	0.967	
Fila*Bloque	39.95 2	19.97	1.35	0.266	
Bloque*Orientación	5.10 4	1.27	0.09	0.986	
Especie*Fila*Bloque	34.50 2	17.25	1.16	0.318	
Especie*Bloque*Orientación..	9.43 4	2.36	0.16	0.9583	
Error	1067.58 72	14.83			
Total	1434.37 95				

#### Cuadro D2

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.30377*

*Error: 14.8275 gl: 72*

Bloque	Medias	n	E.E.	
3	-0.39	32	0.68	A
2	-0.42	32	0.68	A B
1	-0.64	32	0.68	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro D3**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.98603*

*Error: 14.8275 gl: 72*

<u>Especie</u>	<u>Bloque</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
E.dunnii	2	-0.37	16	0.96	A	
E.dunnii	3	-0.38	16	0.96	A	
E.grandis	3	-0.40	16	0.96	A	
E.grandis	1	-0.45	16	0.96	A	B
E.grandis	2	-0.47	16	0.96	A	B
E.dunnii	1	-0.84	16	0.96		B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro D4**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.95781*

*Error: 5.5785 gl: 90*

<u>Estación</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
INVIERNO	-0.21	48	0.34	A
VERANO	-0.76	48	0.34	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro D5**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.43171

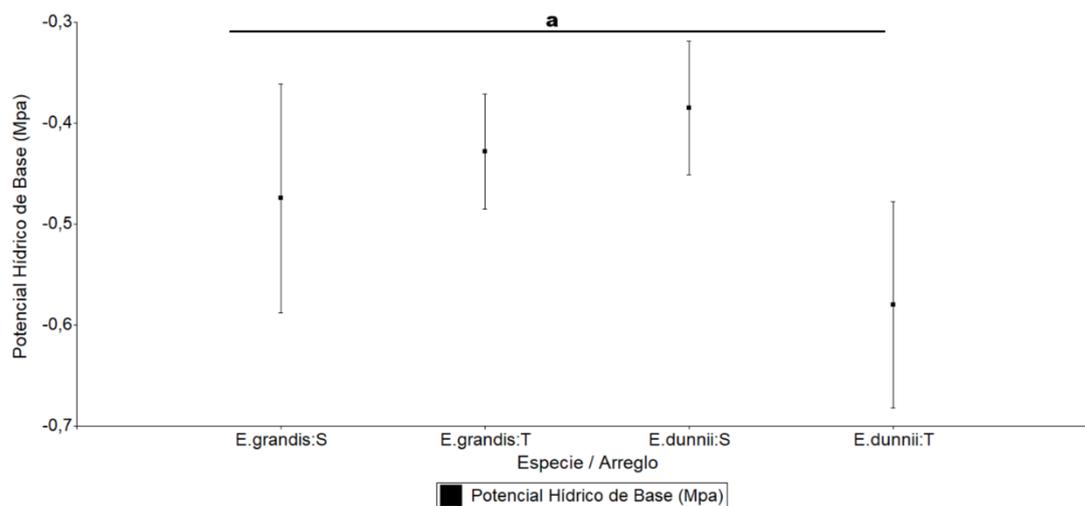
Error: 5.5785 gl: 90

Bloque	Estación	Medias	n	E.E.	
2	INVIERNO	-0.17	16	0.59	A
3	INVIERNO	-0.22	16	0.59	A
1	INVIERNO	-0.24	16	0.59	A
3	VERANO	-0.56	16	0.59	B
2	VERANO	-0.67	16	0.59	B
1	VERANO	-1.0	16	0.59	C

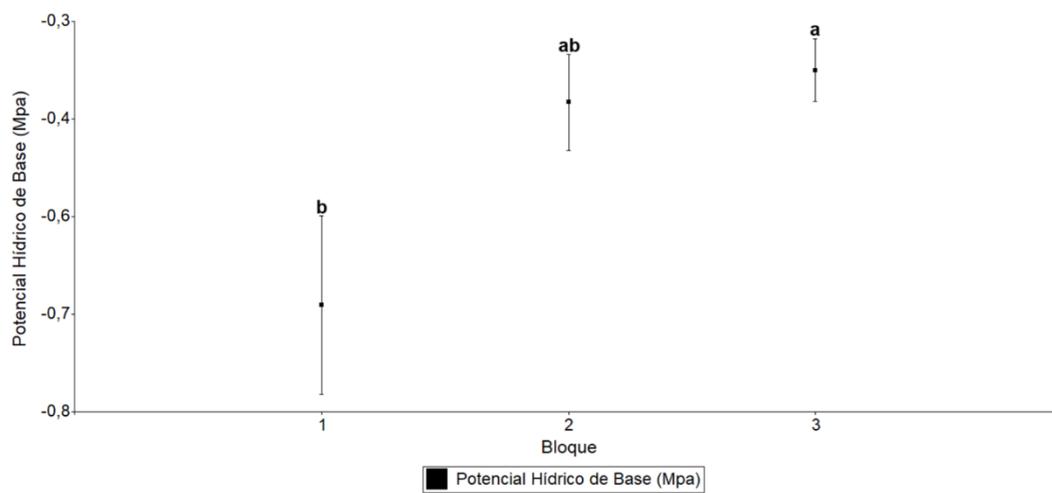
Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Figura D1**

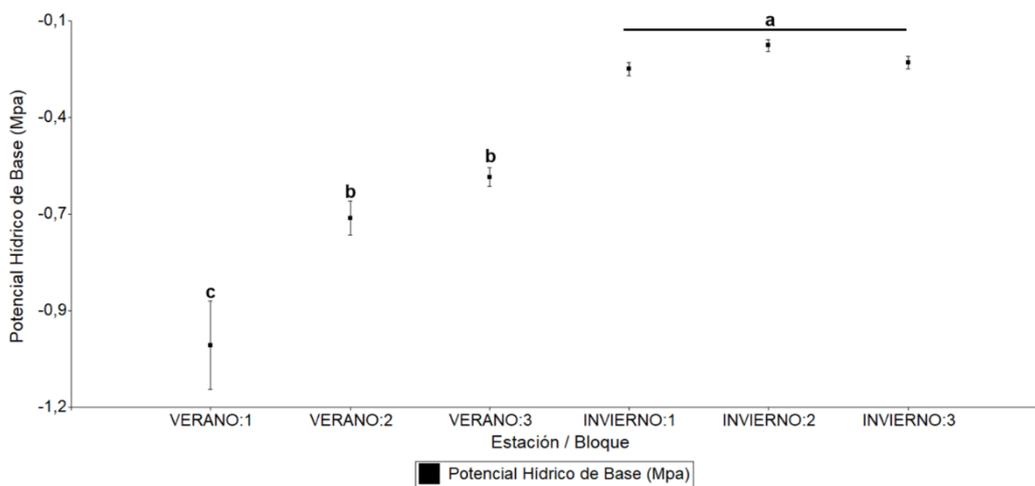
Potencial Hídrico de Base en función de la Especie y Arreglo



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Arreglo en Simple Fila (S), Arreglo en Triple Fila (T). ( $p$ -valor  $< 0.05$ ). n-96.

**Figura D2***Potencial Hídrico de Base en función del Bloque*

*Nota.* Bloque 1 (1), Bloque 2 (2), Bloque 3 (3). (p-valor < 0.05). n= 96.

**Figura D3***Potencial Hídrico de Base en función de la Estación y el Bloque*

*Nota.* Bloque 1 (1), Bloque 2 (2), Bloque 3 (3). (p-valor < 0.05). n= 96.

## Apéndice E

### ANOVA para Potencial Hídrico del Xilema

#### Cuadro E1

#### *Análisis de la Varianza para Potencial Hídrico del Xilema (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1672.51	47	35.59	7.02	<0.0001
Especie	28.72	1	28.72	5.67	0.0213
Fila	18.82	1	18.82	3.72	0.0598
Bloque	16.51	2	8.25	1.63	0.2067
Orientación	2.87	2	1.44	0.28	0.7545
Estación	1342.73	1	1342.73	265.05	<0.0001
Especie*Fila	11.39	1	11.39	2.25	0.1403
Especie*Bloque	5.74	2	2.87	0.57	0.5714
Especie*Orientación	5.45	2	2.73	0.54	0.5873
Especie*Estación	12.51	1	12.51	2.47	0.1227
Fila*Bloque	20.28	2	10.14	2.00	0.1463
Fila*Estación	10.23	1	10.23	2.02	0.1618
Bloque*Orientación	15.29	4	3.82	0.75	0.5599
Bloque*Estación	45.83	2	22.92	4.52	0.0159
Orientación*Estación	0.83	2	0.42	0.08	0.9213
Especie*Fila*Bloque	6.04	2	3.02	0.60	0.5552
Especie*Fila*Estación	2.50	1	2.50	0.49	0.4858
Especie*Bloque*Orientación..	32.53	4	8.13	1.61	0.1883
Especie*Bloque*Estación	14.61	2	7.31	1.44	0.2465
Especie*Orientación*Estaci..	5.52	2	2.76	0.54	0.5837
Fila*Bloque*Estación	10.35	2	5.17	1.02	0.3678
Bloque*Orientación*Estació..	13.79	4	3.45	0.68	0.6089
Especie*Fila*Bloque*Estaci..	11.28	2	5.64	1.11	0.3367
Especie*Bloque*Orientación..	38.69	4	9.67	1.91	0.1242
Error	243.17	48	5.07		
Total	1915.67	95			

**Cuadro E2**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.92376*

*Error: 5.0660 gl: 48*

<u>Especie</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
E.grandis	-0.87	48	0.32	A
E.dunnii	-0.98	48	0.32	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro E3**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.92376*

*Error: 5.0660 gl: 48*

<u>Estación</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
INVIERNO	-0.55	48	0.32	A
VERANO	-1.3	48	0.32	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro E4**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.72921*

*Error: 5.0660 gl: 48*

<u>Especie</u>	<u>Estación</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
E.grandis	INVIERNO	-0.46	24	0.46	A
E.dunnii	INVIERNO	-0.64	24	0.46	B
E.grandis	VERANO	-1.2	24	0.46	C
E.dunnii	VERANO	-1.3	24	0.46	C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro E5**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.99672*

*Error: 5.0660 gl: 48*

Fila	Estación	Medias	n	E.E.	
S	INVIERNO	-0.53	12	0.65	A
T	INVIERNO	-0.56	36	0.38	A
S	VERANO	-1.1	12	0.65	B
T	VERANO	-1.3	36	0.38	B

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro E6**

*Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.36176*

*Error: 5.0660 gl: 48*

Bloque	Estación	Medias	n	E.E.		
1	INVIERNO	-0.51	16	0.56	A	
3	INVIERNO	-0.57	16	0.56	A	
2	INVIERNO	-0.57	16	0.56	A	
3	VERANO	-1.2	16	0.56	B	
2	VERANO	-1.2	16	0.56	B	C
1	VERANO	-1.4	16	0.56		C

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro E7**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.36163

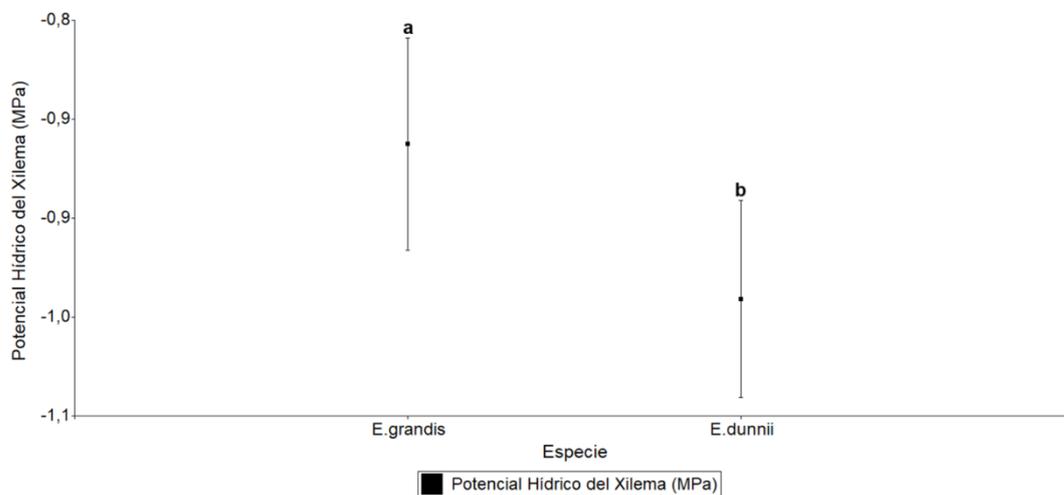
Error: 5.0660 gl: 48

Especie	Fila	Estación	Medias	n	E.E.	
E.grandis	T	INVIERNO	-0.45	18	0.53	A
E.grandis	S	INVIERNO	-0.47	6	0.92	A
E.dunnii	S	INVIERNO	-0.59	6	0.92	A
E.dunnii	T	INVIERNO	-0.66	18	0.53	A
E.dunnii	S	VERANO	-1.0	6	0.92	B
E.grandis	S	VERANO	-1.2	6	0.92	B
E.grandis	T	VERANO	-1.2	18	0.53	B
E.dunnii	T	VERANO	-1.3	18	0.53	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Figura E1**

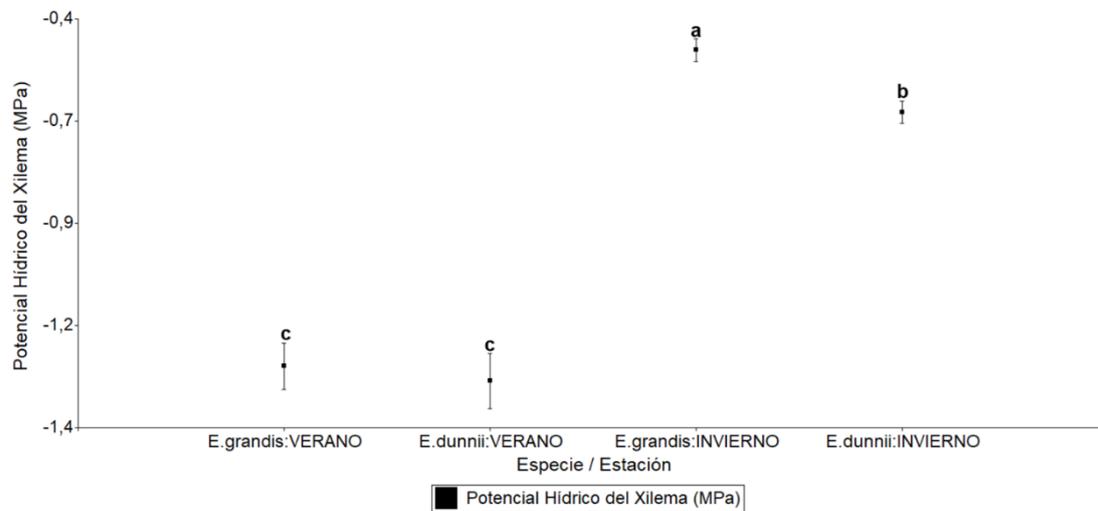
Potencial Hídrico del Xilema en función de la Especie



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). ( $p$ -valor  $< 0.05$ ).  
n=96.

**Figura E2**

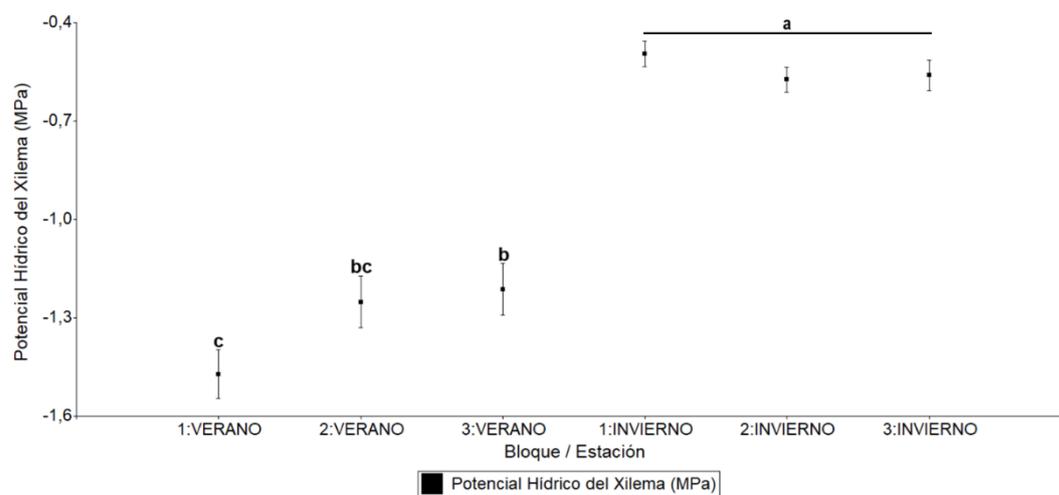
Potencial Hídrico del Xilema en función de la Especie y la Estación



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). (p-valor < 0.05). n= 96.

**Figura E3**

Potencial Hídrico del xilema en función del Bloque y la Estación



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). Bloque 1 (1), Bloque 2 (2), Bloque 3 (3). (p-valor < 0.05). n= 96.

## Apéndice F

### ANOVA para Conductancia Estomática

#### Cuadro F1

##### *Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1818928.17	47	38700.60	2.96	0.0001
<b>Especie</b>	<b>136192.87</b>	<b>1</b>	<b>136192.87</b>	<b>10.40</b>	<b>0.0021</b>
Fila	11520.99	1	11520.99	0.88	0.352
Bloque	30463.39	2	15231.69	1.16	0.321
Orientación	4521.37	2	2260.69	0.17	0.841
<b>Estación</b>	<b>816436.57</b>	<b>1</b>	<b>816436.57</b>	<b>62.36</b>	<b>&lt;0.0001</b>
Especie*Fila	13515.74	1	13515.74	1.03	0.314
Especie*Bloque	8079.17	2	4039.59	0.31	0.736
Especie*Orientación	2567.98	2	1283.99	0.10	0.906
Especie*Estación	75368.76	1	75368.76	5.76	0.020
Fila*Bloque	17553.42	2	8776.71	0.67	0.516
Fila*Estación	16266.82	1	16266.82	1.24	0.270
Bloque*Orientación	76538.11	4	19134.53	1.46	0.228
Bloque*Estación	50307.75	2	25153.88	1.92	0.157
Orientación*Estación	5934.45	2	2967.22	0.23	0.798
Especie*Fila*Bloque	55415.31	2	27707.65	2.12	0.1316
Especie*Fila*Estación	1245.63	1	1245.63	0.10	0.759
Especie*Bloque*Orientación..	120131.97	4	30032.99	2.29	0.0729
Especie*Bloque*Estación	113437.91	2	56718.96	4.33	0.0186
Especie*Orientación*Estaci..	5182.79	2	2591.40	0.20	0.821
Fila*Bloque*Estación	3685.75	2	1842.87	0.14	0.869
Bloque*Orientación*Estació..	58507.17	4	14626.79	1.12	0.359
Especie*Fila*Bloque*Estaci..	105937.30	2	52968.65	4.05	0.0238
Especie*Bloque*Orientación..	90116.94	4	22529.24	1.72	0.1608
Error	628429.40	48	13092.28		
Total	2447357.57	95			

**Cuadro F2**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=46.96077

Error: 13092.2791 gl: 48

Especie	Medias	n	E.E.
E.grandis	285.80	48	16.52 A
E.dunnii	210.47	48	16.52 B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro F3**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=46.96077

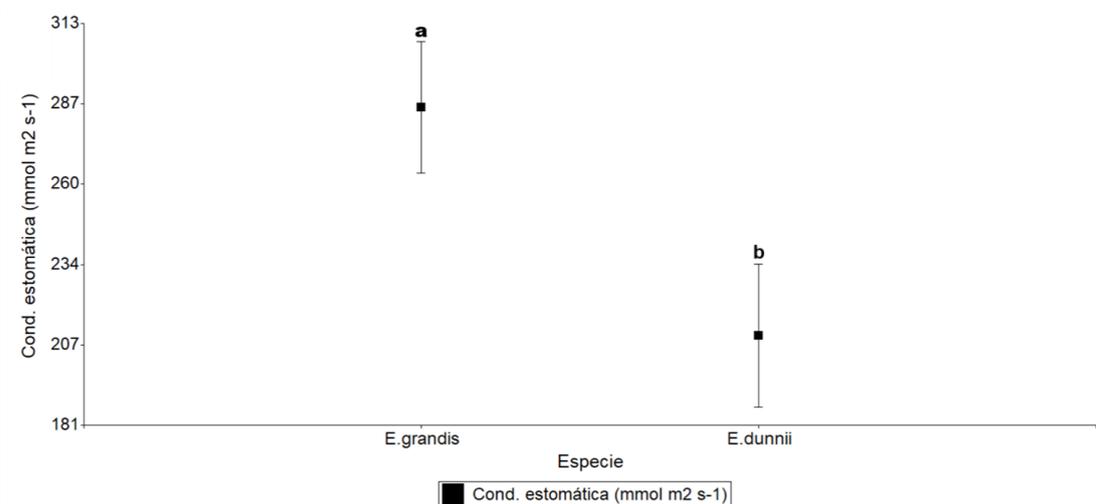
Error: 13092.2791 gl: 48

Estación	Medias	n	E.E.
INVIERNO	340.35	48	16.52 A
VERANO	155.91	48	16.52 B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Figura F1**

Conductancia estomática en función de la Especie



Nota. *Eucalyptus grandis* (*E. grandis*), *Eucalyptus dunnii* (*E. dunnii*). (p-valor < 0.05). n=96.