



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE MAESTRÍA

EVALUACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO DE LA VID EN UN SISTEMA
AGROVOLTAICO CON MANEJO DEL RIEGO BASADO EN EL POTENCIAL
AGUA DE LA HOJA

MAESTRÍA EN VITICULTURA Y ENOLOGÍA

Tesista: ING. AGR. BRAIAN HUGO SEGOVIA

Director: Dr. Jorge E. Perez Peña

Codirector: Dr. Jorge Alejandro Prieto

Mendoza

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento y amor, dedico este trabajo a Dios, fuente de fortaleza, salud y esperanza, quien me acompañó en cada momento de esta travesía académica. Sin su guía y bendición, no habría sido posible completar este proyecto ni mantenerme firme ante los desafíos que surgieron en el camino.

A mi querida familia, quienes son mi sostén y mi mayor inspiración. Gracias por darme las herramientas para superarme y por inculcarme desde siempre el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis padres, Hugo Orlando Segovia y Nélida Francisca Gareca Alfaro, quienes han sido mi ejemplo y mis mayores motivadores. Su apoyo incondicional, sus enseñanzas y su fe en mí fueron esenciales para llegar hasta aquí. Sus sacrificios y el amor con el que me han rodeado han sido el motor de este logro.

A mi hermano, Nahuel Orlando Segovia, gracias por tu constante compañía, tu aliento y la certeza de saber que siempre cuento contigo. Tu apoyo fue una fuente de fuerza en los momentos más difíciles.

Agradecimientos

Al culminar este trabajo de investigación, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, con su apoyo, motivación y generosidad, contribuyeron a la realización de esta meta. Sin el aliento, el respaldo y la confianza de quienes me rodean, cada desafío hubiera sido mucho más difícil de superar.

En primer lugar, agradezco a Dios, quien me ha dado salud, sabiduría y fortaleza, guiándome con paciencia y serenidad en cada momento de este recorrido, permitiéndome crecer tanto en lo personal como en lo académico.

A mis padres, Hugo Orlando Segovia y Nélide Francisca Gareca Alfaro, cuya dedicación y amor incondicional me han enseñado el verdadero valor del esfuerzo y la superación. Son ellos quienes, desde siempre, me han brindado el ejemplo de responsabilidad y compromiso que he tratado de seguir a lo largo de mi vida. Gracias por ser mi fuente inagotable de apoyo, por sus palabras de aliento y por el cariño que siempre me han brindado. A mi hermano, Nahuel Orlando Segovia, quien ha sido un compañero incansable en este viaje, gracias por estar siempre a mi lado, compartiendo logros y dificultades, y por ser un ejemplo de amistad, solidaridad y constancia. A mis amigos, por ser mis confidentes y acompañantes, y por ofrecerme su apoyo en cada etapa de este camino.

De igual forma, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Jorge Perez Peña, por su compromiso y por compartir generosamente sus conocimientos y su experiencia a lo largo de todo el proceso de investigación. Su guía y orientación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y su apoyo me inspiró a mantener la motivación y el enfoque necesario para cumplir mis objetivos. Agradezco también a mi codirector, Jorge Alejandro Prieto, por su acompañamiento y por contribuir con su perspectiva y conocimientos, los cuales fueron de gran ayuda para enriquecer esta investigación y llevarla a buen puerto.

Una mención especial merece la Ing. Mariana Gómez Tournier, quien fue un pilar invaluable en la realización de esta investigación. Su apoyo incondicional, sus enseñanzas, su guía y sus consejos marcaron una diferencia significativa en cada etapa de este proceso. Agradezco profundamente su disposición, generosidad y compromiso,

que me brindaron tanto conocimientos como motivación para superar cada obstáculo y avanzar.

Finalmente, mi gratitud se extiende a todas las personas que, de alguna forma, colaboraron para que este trabajo pudiera ser concluido. A colegas, docentes y profesionales que me brindaron su ayuda, compartieron sus experiencias y dedicaron tiempo para asesorarme, su apoyo y colaboración fueron esenciales para el logro de este trabajo.

Resumen

La implementación de sistemas agrovoltaicos en la viticultura representa una innovación reciente, y la información disponible a nivel local sobre su impacto y eficacia es aún limitada. Los sistemas agrovoltaicos integran la generación de energía solar con la producción agrícola mediante la instalación de paneles solares elevados sobre los cultivos, permitiendo un uso simultáneo y funcional del mismo espacio físico. Además, ofrecen una solución potencial para enfrentar los desafíos actuales del cambio climático. Estos sistemas podrían mejorar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones climáticas adversas, mediante la sombra parcial que generan, lo cual reduce el impacto del calor y la radiación solar sobre los cultivos, favoreciendo un microclima más estable y propicio para una agricultura resiliente y sostenible. En este contexto, el objetivo principal de la investigación fue evaluar el efecto de un sistema agrovoltaico sobre el consumo hídrico de la vid. La presente tesis se enfoca en ampliar el conocimiento científico sobre la viabilidad y el impacto de los sistemas agrovoltaicos en la viticultura, centrándose específicamente en el manejo del riego basado en el potencial agua de la vid en los sistemas agrovoltaicos. Este parámetro, determinado mediante la cámara de presión, proporciona una evaluación del estado hídrico, facilitando una gestión hídrica que apunta a maximizar la eficiencia del riego para un objetivo de producción determinado. Para ello, se realizó un estudio en un viñedo experimental de la variedad Malbec clon 18, durante la temporada 2020/2021, en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Mendoza del INTA. El ensayo se realizó en un experimento preexistente con cuatro orientaciones de plantación de sus hileras (Norte-Sur, Este-Oeste, Sudoeste-Noreste y Sudeste-Noroeste). Para nuestro estudio únicamente se trabajó con las orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste. Además del factor de orientación de las hileras, se simuló las sombras que generarían paneles fotovoltaicos. Se diseñó e instaló una estructura y en lugar de paneles fotovoltaicos, se colocaron telas media sombra sobre el viñedo simulando las condiciones de sombreado que generarían dichos paneles. La combinación de los factores orientación NS y EO y con paneles (CP) y sin paneles (SP) resultó en 4 tratamientos: T1: NS-CP; T2: NS-SP; T3: EO-CP y T4: EO-SP. En cuanto al riego, fue manejado en base al potencial hídrico foliar, las diferencias en la cantidad de agua aplicada se debieron al efecto de la sombra, que redujo la demanda hídrica de las plantas. Como resultado, se consiguió un ahorro de agua en los tratamientos CP de 102 mm de riego

acumulado desde la brotación hasta cosecha independientemente del factor orientación de hileras, para el cual no se encontraron diferencias. Esta reducción representa un ahorro del 32,8 % en el uso de agua en los tratamientos bajo paneles solares simulados en comparación con los tratamientos sin paneles solares simulados. En cuanto a los rendimientos, los tratamientos sin paneles solares simulados mostraron una producción superior a los tratamientos bajos paneles solares simulados, con un rendimiento promedio de 208,78 qq/ha frente a 156,17 qq/ha respectivamente. Esto representa una reducción del 25 % en la producción bajo paneles solares simulados.

Palabras clave: Cambio climático, Orientación de hileras, Riego, Sistemas agrovoltaicos, Viticultura.

Abstract

The implementation of agrivoltaic systems in viticulture represents a recent innovation, and local information regarding their impact and effectiveness is still limited. Agrivoltaic systems integrate solar energy generation with agricultural production by installing elevated solar panels above the crops, allowing simultaneous and functional use of the same physical space. Furthermore, they offer a potential solution to address the current challenges posed by climate change. These systems could improve crop resilience to adverse weather conditions through the partial shading they generate. This reduces the impact of heat and solar radiation on crops, promoting a more stable microclimate conducive to resilient and sustainable agriculture. In this context, the main objective of the research was to evaluate the effect of an agrivoltaic system on vine water consumption. This thesis focuses on expanding scientific knowledge on the feasibility and impact of agrivoltaic systems in viticulture, focusing specifically on irrigation management based on vine water potential in agrivoltaic systems. This parameter, determined using a pressure chamber, provides an assessment of water status, facilitating water management aimed at maximizing irrigation efficiency for a given production objective. To this end, a study was conducted in an experimental vineyard of the Malbec clone 18 variety during the 2020/2021 season at INTA's Mendoza Agricultural Experimental Station (EEA). The trial was conducted in a pre-existing experiment with four row planting orientations (north-south, east-west, southwest-northeast, and southeast-northwest). For our study, only north-south and east-west orientations were used. In addition to the row orientation factor, the shade generated by photovoltaic panels were simulated. A structure was designed and installed, and instead of photovoltaic panels, semi-shade fabrics were placed over the vineyard, simulating the shading conditions that such panels would generate. The combination of NS and EO orientation factors and with panels (CP) and without panels (SP) resulted in 4 treatments: T1: NS-CP; T2: NS-SP; T3: EO-CP and T4: EO-SP. Regarding irrigation, it was managed based on leaf water potential (Ψ_l). The differences in the amount of water applied were due to the shading effect, which reduced the plants' water demand. As a result, water savings of 102 mm of accumulated irrigation from bud break to harvest were achieved in the partial shading (CP) treatments, regardless of row orientation, for which no differences were found. This reduction represents a 32.8% savings in water use in treatments under

simulated solar panels compared to treatments without simulated solar panels. Regarding yields, treatments without simulated solar panels showed higher production than treatments under simulated solar panels, with an average yield of 208.78 qq/ha versus 156.17 qq/ha, respectively. This represents a 25% reduction in output under simulated solar panels.

Keywords: Climate Change, Row Orientation, Irrigation, Agrovoltaic Systems, Viticulture.

Tabla de contenido

1	Capítulo I	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1	Sistemas agrovoltaicos	2
1.1.2	El papel del agua en el desarrollo y manejo de la vid.....	3
1.1.3	Riego	4
1.1.4	Estrés hídrico.....	5
1.1.5	Potencial hídrico (Ψ_h).....	5
1.1.6	Determinación del estado hídrico en vid.....	6
1.1.7	Potencial hídrico foliar (Ψ_f)	7
1.1.8	Respuesta de la vid al déficit hídrico	8
1.1.9	Evapotranspiración (ET)	9
1.1.10	Incidencia de la Luz, la Orientación del Viñedo y los Sistemas Agrovoltaicos en el Desarrollo de la Vid.....	10
1.2	FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN	11
1.3	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	12
1.3.1	Hipótesis General	12
1.3.2	Hipótesis Específicas	12
1.4	OBJETIVOS.....	12
1.4.1	Objetivo General	12
1.4.2	Objetivos Específicos.....	12
2	Capítulo II.....	14
2.1	MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1.1	Sitio y material vegetal.....	14
2.1.2	Diseño experimental.....	15
2.1.3	Variables medidas	16
2.1.4	Análisis estadístico.....	20
3	Capítulo III.....	21
3.1	Resultados	21
3.1.1	Condiciones ambientales.....	21
3.1.2	Riego	22
3.1.3	Riego acumulado.....	23
3.1.4	Potencial hídrico.....	24
3.1.5	Dinámicas diarias de Ψ_f	26

3.1.6	Evapotranspiración del cultivo desde brotación	29
3.1.7	Contenido hídrico del suelo	30
3.1.8	Fenología.....	35
3.1.9	Crecimiento vegetativo	36
3.1.10	Rendimiento y componentes del rendimiento.....	40
3.1.11	Equilibrio vegetativo/reproductivo	41
4	Capítulo IV	43
4.1	Discusión	43
4.2	Conclusiones	50
	Bibliografía	
	Anexos	

FIGURAS

Figura 1. Vista satelital del viñedo con diferentes orientaciones en la EEA Mendoza del INTA donde se realizó el estudio. En negro, se puede visualizar las parcelas con paneles solares simulados. Imagen captada el (30/08/2022) 33°00'14"S 68°51'54"W 922msnm.....

Figura 2. Esquema del diseño experimental indicando las orientaciones de hilera (N-S norte sur, E-O este oeste), ■ parcela con sombra bajo panel solar simulado, ■ tratamiento sin panel solar simulado, 1 a 12 hileras, ① a ⑮ parcelas experimentales

Figura 3. Promedios mensuales de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación acumulada mensual (mm) durante el periodo comprendido entre agosto de 2021 a abril de 2022, para la localidad de Luján de Cuyo, provincia de Mendoza, Argentina.....

Figura 4. Promedio de cada medición del $\Psi_{f,md}$ (MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. El umbral de riego utilizado durante el ciclo 2020/21 Luján de Cuyo, Mendoza se marca con línea negra continua. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Etapas fenológicas (I). Las barras indican el error estándar.....

Figura 5. Riegos aplicados en la temporada 2021/22. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).....

Figura 6. Riego acumulado (mm) de las parcelas experimentales en estudio en el ciclo 2021/22. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Inicio del manejo diferenciado del riego (I).

Figura 7. $\Psi_{f,md}$ (MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.....

Figura 8. Dinámica diaria (14/02/2022) de Ψ_f (MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.

Figura 9. Dinámica diaria (10/03/2022) de Ψ_f (MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.

Figura 10. ET_C acumulada (EtcAcum), precipitación efectiva acumulada (ppefAcum), riego acumulado desde brotación sin panel solar simulado (RiegoAcum-SP) y con panel solar simulado (RiegoAcum-CP). Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza.

Figura 11. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 0-30 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones.

Figura 12. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 30-60 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones.

Figura 13. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 60-90 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones

Figura 14. Humedad del suelo (mm). Profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Orientaciones (NS norte-sur, EO este-oeste).

Figura 15. Humedad del suelo (mm). Profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Paneles solares simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

Figura 16. Longitud total de brotes (cm) antes del primer despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).....

Figura 17. Longitud de feminelas (cm) antes del segundo despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).....

Figura 18. Longitud de feminelas de segundo orden después del 2do despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).....

TABLAS

Tabla 1. Valores de $\Psi_{f,md}$ de la temporada 2021/22

Tabla 2. $\Psi_{f,md}$, tomado en el ciclo 2021/22

Tabla 3. Efecto de la orientación de hileras y la sombra proyectada por paneles solares simulados sobre la marcha diaria del Ψ_f (MPa) el (14/02/2022), en la cv. Malbec clon 18 en Luján de Cuyo, Mendoza. (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (con panel solar simulado, sin panel solar simulado).

Tabla 4. Efecto de la orientación de hilera y la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la marcha diaria del Ψ_f (MPa) el (10/03/2022), en la cv. Malbec clon 18 en Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (con panel solar simulado, sin panel solar simulado).

Tabla 5. Humedad de suelo (mm) a tres diferentes profundidades (0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm). Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.....

Tabla 6. Determinación e identificación de estados fenológicos según el sistema desarrollado por Eichorn-Lorenz (1977) y modificado por Coombe (1995).

Tabla 7. % de brotación, número de brotes por planta, longitud total de brotes antes del primer despunte, el crecimiento de feminelas antes del segundo despunte y el crecimiento de feminelas de segundo orden después del segundo despunte. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.

Tabla 8. Rendimientos y sus componentes correspondientes en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.

Tabla 9. Índice de Ravaz

Abreviaciones

Abreviatura	Definición	Unidad
ET	Evapotranspiración	mm
ET _O	Evapotranspiración de referencia	mm
ET _C	Evapotranspiración del cultivo	mm
K _c	Coeficiente de cultivo	
Ψ	Potencial	MPa
Ψ_h	Potencial hídrico	MPa
Ψ_f	Potencial hídrico foliar	MPa
$\Psi_{f,md}$	Potencial hídrico foliar de mediodía	MPa

1 Capítulo I

1.1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos de la Tierra, incluyendo los cambios en la temperatura, los patrones de precipitación y los eventos climáticos extremos (Gatti et al., 2021). La adaptación de los sistemas alimentarios al cambio climático es esencial para fomentar la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales (FAO, 2022). El ascenso de las temperaturas globales y sus consecuencias van a afectar a las regiones en las que actualmente se cultiva la vid, lo que obliga a considerar la adaptación o incluso la sustitución de variedades de uva cultivadas en estas zonas (Sáez, 2020). Las estrategias de adaptación en la agricultura pueden variar desde ajustes simples en las fechas de siembra y cosecha, hasta transformaciones más profundas como la implementación de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas en entornos controlados (FAO, 2013). En este contexto, el sistema agrovoltaico ha emergido como una solución innovadora y sostenible. Este sistema combina la producción de alimentos y energía en un mismo espacio, proporcionando una doble ventaja: la generación de energía renovable y la protección de los cultivos frente al estrés térmico inducido por el cambio climático (Jung et al., 2021). Además, se ha demostrado que los sistemas agrovoltaicos pueden mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, particularmente el agua, y reducir la huella de carbono de las explotaciones agrícolas (Dupraz et al., 2011).

Los efectos del cambio climático también incluyen cambios en los patrones de precipitaciones, sequías más intensas y frecuentes, inundaciones extremas, precipitaciones estacionales más irregulares y deshielo acelerado de los glaciares (ONU, 2023). La agricultura actual y futura dependen de la gestión sostenible de los recursos hídricos y de soluciones innovadoras que aborden los riesgos derivados del cambio climático (ONU, 2016).

1.1.1 Sistemas agrovoltaicos

El concepto de Agrovoltaismo fue propuesto por primera vez en Alemania en 1982 (Goetzberger & Zastrow, 1982). Estos investigadores propusieron una visión innovadora en la que los colectores de energía solar y la agricultura podrían coexistir en el mismo terreno. Su planteamiento sugería que, al integrar la producción de energía solar con la agricultura, se podría maximizar el uso de la tierra, optimizando tanto la generación de energía como el rendimiento agrícola (Fraunhofer, 2021). En 2004, el japonés Akira Nagashima creó una estructura basándose en estos conocimientos, con el objetivo de permitir que los cultivos recibiesen la luz suficiente para la fotosíntesis y aprovechando el exceso de energía resultante para generar electricidad (Nagashima, 2005).

Los sistemas agrovoltaicos destinan la tierra para dos fines complementarios, producción de alimentos y generación de energía, lo cual implica un aumento en la eficiencia en el uso del suelo (Calvet, et al., 2013). Consisten en la instalación de paneles solares por encima de los cultivos de manera que se genere un sombreado en el cultivo, logrando aprovechar más del 70% de la superficie disponible sin reducir el espacio destinado a la producción de alimentos (Dupraz et al., 2011). Su objetivo es generar electricidad y al mismo tiempo, permitir o incluso favorecer, el desarrollo del cultivo (Fernández, 2021). Los paneles solares además de producir energía cumplen la función de proteger a los cultivos de altas irradiaciones atenuando la temperatura del suelo y el cultivo (Marrou et al., 2013).

Un sistema agrovoltaico reduce la temperatura media del suelo y la evapotranspiración (ET) y modifica las condiciones de crecimiento de la planta (Amaducci et al., 2018). En lechuga, se ha observado una producción similar o incluso mayor, así como también una adaptación a su morfología (produce hojas más anchas) al ser cultivada bajo paneles fotovoltaicos (Marrou et al., 2013). Por otro lado, el pimiento mostró una producción tres veces mayor bajo un sistema agrovoltaico en comparación con métodos tradicionales (Barron-Gafford et al., 2019). En cuanto al pimiento jalapeño, la producción fue similar en el sistema agrovoltaico y en una parcela tradicional, sin embargo, el consumo de agua por transpiración fue un 65 % menor (Zarco, 2023). La sombra de los paneles genera

temperaturas diurnas más frías y temperaturas nocturnas más cálidas generando un ahorro de agua (Segui, 2019).

A través de la implementación de un viñedo agrovoltaico el productor o empresa, además del ingreso por la producción de uva, puede obtener un ingreso extra por la generación de energía eléctrica o un ahorro en aquella que utiliza para su producción agrícola (Hassanpour et al., 2018). Además, contribuye a reducir el uso de combustibles fósiles.

Actualmente estos sistemas son cada vez más implementados en regiones con escasez de tierra, sobre todo los paneles solares elevados que permiten cultivar y cosechar debajo de ellos árboles frutales, uvas y cereales (Sekiyama & Nagashima, 2019). Además, la radiación disminuida por paneles fotovoltaicos en un sistema agrovoltaico en Lampa, Chile, cultivando albahaca con riego localizado, redujo la ET y aumentó la humedad del suelo, obteniendo un ahorro de agua del 14 % y 29 % (Fraunhofer, 2021).

1.1.2 El papel del agua en el desarrollo y manejo de la vid

El movimiento del agua desde el suelo a la atmósfera, a través de la planta, se puede explicar por gradientes de potencial hídrico (Ψ_h) a lo largo de este recorrido (Azcón-Bieto et al., 2000). De forma esquemática, el movimiento de agua en la planta se resume en cuatro pasos: suelo-raíz, raíz-tallo, tallo-hoja y hoja-atmosfera (Choné et al., 2001). En la vid, el agua es fundamental para su crecimiento vegetativo/reproductivo y un factor determinante del rendimiento, la calidad de las uvas y las características de los vinos (Carbonneau, 1998). El agua puede provenir de la lluvia, de napas freáticas y cuando es limitada para el cultivo de la vid, es necesario regar para evitar déficits hídricos que según su intensidad o periodo de ocurrencia pueden afectar el rendimiento y la calidad de la vendimia (Williams & Matthews, 1990). La evaluación del estado hídrico de la vid es fundamental para implementar estrategias de riego eficientes y sostenibles. Entre los indicadores fisiológicos disponibles, el potencial hídrico foliar (Ψ_f) se ha consolidado como una variable fisiológica clave para estimar el estado hídrico de la planta, permitiendo así ajustar las decisiones de riego de forma precisa y oportuna (Munitz et. al, 2017).

1.1.3 Riego

El riego en la viticultura es una práctica obligada en regiones donde el balance hídrico natural es insuficiente para lograr rendimientos y calidades de uva que hagan rentable al cultivo. Uno de los métodos más efectivos para gestionar el riego es el monitoreo del Ψ_f , el cual permite evaluar directamente el estado hídrico de la planta. Este indicador refleja el estado hídrico que experimenta la planta, permitiendo ajustar el riego de manera más precisa (Choné et al., 2001). Numerosos estudios han confirmado que la implementación del Ψ_f en la operación del riego puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad de las uvas, al asegurar un suministro hídrico adecuado que previene la restricción hídrica excesiva y favorece el cumplimiento de los objetivos productivos (Damásio et al., 2023).

El uso del Ψ_f en la operación del riego se ha vuelto cada vez más relevante en el contexto del cambio climático. El aumento de las temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones han incrementado la necesidad de una gestión hídrica más eficiente. Varias investigaciones han demostrado que la vid es capaz de mantener su productividad con menos riego si éste se ajusta basándose en el Ψ_f (Intrigliolo & Castel, 2010; Schultz, 2003; Santesteban et al., 2011). Este enfoque permite optimizar el uso del agua al aplicarla solo cuando la planta realmente lo necesita, contribuyendo así a la sostenibilidad del viñedo (Romero et al., 2018).

Además, la variabilidad de respuesta en las diferentes variedades de vid a una restricción hídrica subraya la importancia de utilizar el Ψ_f como una herramienta específica para cada variedad y destino de producción. Algunas variedades, como Garnacha y Syrah, muestran un comportamiento anisohídrico, es decir, que mantienen sus estomas abiertos incluso bajo condiciones de déficit hídrico, lo que requiere un monitoreo constante para evitar el daño por estrés hídrico severo (Schultz, 2003). Por otro lado, variedades con un comportamiento más isohídrico como Merlot y Cabernet Sauvignon, tienen un control más estricto del cierre estomático, lo que puede ser ventajoso en situaciones de déficit hídrico moderado al preservar el estado hídrico de la planta. Sin embargo, este cierre estomático precoz puede limitar la asimilación de dióxido de carbono y, por ende, la fotosíntesis, lo que requiere una estrategia de riego más ajustada para evitar reducciones en el rendimiento (Medrano et al., 2015). Estas diferencias destacan la necesidad de

adaptar la estrategia de riego según los objetivos de producción, las características específicas de la variedad y las condiciones climáticas locales (Gambetta et al., 2020).

En la actualidad, la clasificación de las plantas como isohídricas o anisohídricas ha sido cuestionada, ya que muchas especies muestran comportamientos opuestos cuando se enfrentan a distintas condiciones ambientales, del suelo o etapas de crecimiento (Sade et al., 2012; Martínez-Vilalta et al., 2014). Esto indica que el manejo del agua en las plantas no es un rasgo completamente fijo, sino que puede variar según factores externos como la disponibilidad de agua, las señales hormonales o el estado de desarrollo de la planta (Tramontini et al., 2014; Rodríguez-Robles et al., 2015).

1.1.4 Estrés hídrico

En el mundo, la agricultura se ha extendido a gran diversidad de condiciones agroecológicas, desde zonas húmedas, sin déficit hídrico, hasta zonas áridas, en las cuales la falta de agua es frecuente y donde es necesario regar. En estas condiciones los cultivos que mejor se desarrollan son aquellos que pueden convivir con algún déficit hídrico. Este tipo de cultivos, entre los que se encuentra la vid, soportan grandes demandas atmosféricas de agua, alta irradiación y temperaturas (Lovisolo, 2008).

Las plantas absorben agua del suelo la cual se evapora hacia la atmosfera a través de las hojas por el proceso de transpiración generando un gradiente de Ψ_h entre la hoja y el suelo. Un exceso de transpiración con respecto a la absorción genera un estrés hídrico de la planta, que puede deberse al bajo contenido de humedad del suelo o a un elevado déficit de presión de vapor de la atmosfera (Vila, 2012). Esto puede generar reducciones en el crecimiento de la vid, tanto en los órganos vegetativos como en los reproductivos (Martínez et al., 2000).

1.1.5 Potencial hídrico (Ψ_h)

El Ψ_h se expresa en unidades de energía por unidades de masa o volumen. El Ψ_h se puede descomponer en potenciales presión, osmótico, gravitacional y mátrico, cada uno de ellos intervienen de manera específica según el agua se mueva en el suelo, la planta o la atmósfera. El potencial hídrico foliar (Ψ_f) depende de la transpiración de la planta, del Ψ_h

del suelo y de la resistencia al movimiento del agua, además de verse influido por el potencial atmosférico, que regula la demanda evaporativa (García et al., 2020).

Desde un punto de vista fisiológico, el Ψ_f es un indicador clave para comprender la dinámica del agua dentro de la planta y su respuesta al estrés hídrico. La capacidad de la planta para mantener un Ψ_f adecuado está directamente relacionada con la regulación estomática y la eficiencia en el transporte hidráulico, procesos que permiten equilibrar la pérdida de agua por transpiración con su absorción radicular (Tyree & Zimmermann, 2002). Además, el mantenimiento de un Ψ_f óptimo es esencial para preservar la turgencia celular, que sostiene la estructura y funcionalidad de los tejidos fotosintéticos y permite la continuidad de procesos metabólicos vitales como la fotosíntesis y el crecimiento (Taiz & Zeiger, 2010). Por lo tanto, la medición y monitoreo del Ψ_f no solo reflejan el estado hídrico actual de la planta, sino que también facilita la toma de decisiones para un manejo eficiente del riego, contribuyendo a mitigar los efectos negativos del déficit hídrico y optimizando el uso del recurso en condiciones de limitación hídrica (Hsiao, 1973; Jones, 2007).

1.1.6 Determinación del estado hídrico en vid

Distintas herramientas basadas en variables fisiológicas indicadoras del estado hídrico de las plantas permiten un uso más racional del agua (Medrano, 2007), y un ajuste de los momentos de aplicación del riego más preciso y adaptada a las necesidades reales del cultivo (Jones, 2004). Si bien existen diferentes métodos para el seguimiento del balance hídrico del cultivo y del suelo (evapotranspirómetros, sensores de humedad, etc.), en la práctica, los datos obtenidos por estos métodos pueden llevar a interpretaciones erróneas con consecuencias, a veces, muy desfavorables para el cultivo (Gero & Rodríguez, 2015). Es indispensable entonces, medir el estado hídrico del viñedo para asegurar las estrategias de riego (Molina et al., 2020).

Entre los métodos de evaluación del estado hídrico del viñedo, la técnica de la cámara de presión (Scholander, 1965) brinda valores del Ψ_f que han permitido establecer umbrales de referencia que indican diferentes niveles de estrés hídrico en la planta (Ojeda, 2007). El procedimiento consiste en seleccionar hojas adultas, sanas y expuestas directamente al sol, del tercio medio del pámpano, que se embolsa en una bolsa de polietileno, y luego se

corta el pecíolo transversalmente a cinco centímetros del limbo. Posteriormente se coloca la hoja en una cámara cerrada, quedando el corte del pecíolo en el exterior. Un tanque de nitrógeno gaseoso comprimido permite aumentar la presión dentro de la cámara (Ojeda et al., 2004). La presión suministrada por la cámara es directamente proporcional a la tensión o succión que el agua experimenta en el sistema vascular de la hoja. Cuando la presión externa aplicada iguala esta tensión, el agua comienza a emerger del xilema al corte del pecíolo, indicando el equilibrio hidrostático entre la presión aplicada y la tensión del agua en la planta. De este modo, la presión medida (leída en el manómetro) es un reflejo directo del Ψ_f , el resultado se expresa en bares o en megapascuales (MPa), siempre en valores negativos, permitiendo así evaluar el estado hídrico y el grado de estrés de la planta con alta precisión (Taiz & Zeiger, 1998).

1.1.7 Potencial hídrico foliar (Ψ_f)

La evolución del Ψ_f durante el día, permite medir la dinámica diaria de deshidratación de la vid. Esta dinámica de deshidratación depende principalmente de la reserva de agua del suelo (Deloire, 2006), del sistema de conducción (superficie foliar total y expuesta; Busso 2008 citado por García et al., 2010), del cepaje (comportamiento fisiológico del tipo isohídrico o anhisohídrico; Schultz, 2003), de las prácticas culturales y de la evapotranspiración de referencia (ET_0 ; Ojeda & Deloire, 2005).

El Ψ_f es un indicador del estado hídrico de la planta. Presenta valores más altos al amanecer y al anochecer y más bajos al medio día, ya que normalmente corresponden con el momento de mayor demanda evapotranspiratoria del ambiente. Luego de alcanzar los valores más bajos al medio día, empieza a subir progresivamente hasta llegar nuevamente a su valor de equilibrio con el suelo en preamanecer (Sanchez & Aguirreola, 2000). Es importante considerar que la pérdida de agua por parte de la planta no es constante a lo largo del día, sino que varía en función a las condiciones ambientales, por lo tanto, el Ψ_f también lo hace (Prichard et al., 2003). En situaciones donde el suministro de agua del suelo es limitado y la demanda de agua de la atmosfera es elevada, el Ψ_f disminuye significativamente, reflejando un mayor nivel de estrés hídrico de la planta (Sellés et al., 2002). Cuando la medición del Ψ_f se realiza al mediodía en la hora de máxima iluminación, cuando la planta presenta una alta actividad fisiológica, caracterizada por la

apertura estomática, intensa transpiración y elevada tasa fotosintética se denomina potencial hídrico foliar de mediodía ($\Psi_{f,md}$; Pérez, 2002).

1.1.8 Respuesta de la vid al déficit hídrico

El agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su escasez constituye una de las principales fuentes de estrés (Moreno, 2009). Muchas plantas han desarrollado diferentes respuestas y adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones de déficit hídrico (Pereyra & Quiriban, 2014). Un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférico o una combinación de estos factores (Nilsen & Orcutt, 1996).

Una planta se considera bajo estrés hídrico cuando su Ψ_f disminuye por debajo de umbrales fisiológicos que comprometen la función celular y la turgencia (Taiz & Zeiger, 2002). El déficit hídrico en la vid influye en la fisiología de la planta y a través de ella sobre el crecimiento vegetativo, composición de la baya, en procesos de biosíntesis y concentración de azúcares, polifenoles y aromas (Pellegrino et al., 2005). La vid para vivir bajo déficit hídrico, ha desarrollado distintos mecanismos asociados a la adaptación a sequía. Entre estos mecanismos uno de ellos, por ejemplo, es el mayor crecimiento de raíces que aumenta la exploración del suelo y permite alcanzar reservorios de agua más profundos (Lovisolo et al., 2002). Otro de los mecanismos clave es el cierre estomático, mediante el cual la vid ajusta rápidamente la apertura de los estomas para reducir la pérdida de agua a través de la transpiración (Medrano et al., 2015). Adicionalmente, las vides tienden a aumentar su eficiencia en el uso del agua en situaciones de déficit hídrico, lo que les permite producir más biomasa o rendimiento de fruta (uvas) por unidad de agua consumida, aunque esto no implica necesariamente un aumento en el rendimiento total (Schultz, 2016). Esta mayor eficiencia también puede estar relacionada con cambios en la distribución de asimilados, ya que, bajo déficit hídrico, la vid prioriza el crecimiento de raíces sobre órganos reproductivos para optimizar la captación de agua, modificando el equilibrio vegetativo/reproductivo (Lovisolo et al., 2002). Dicha redistribución está determinada por la dinámica fuente-sumidero la cual se ajusta en función de la disponibilidad de recursos bajo estas condiciones de estrés (Romero et al., 2010). Este

incremento en la eficiencia es una respuesta adaptativa que optimiza los recursos disponibles en entornos de escasez hídrica. Otro mecanismo importante es la alteración en el metabolismo del carbono. Bajo estrés hídrico, las vides ajustan su metabolismo fotosintético, optimizando la fijación y la asignación de carbono y reduciendo la actividad fotosintética cuando la disponibilidad de agua es limitada (Flexas et al., 2014). Este proceso contribuye a una mejor gestión de los recursos energéticos en situaciones de sequía.

La intensidad y el momento fenológico del estrés hídrico determinan las respuestas adaptativas de la vid, ya que el déficit durante etapas críticas, como la floración o el cuajado, puede afectar severamente el desarrollo y la calidad del fruto, mientras que durante etapas vegetativas la planta puede tolerar mejor la falta de agua (Chaves et al., 2010)

1.1.9 Evapotranspiración (ET)

Para determinar la cantidad de agua necesaria que tiene que ser aplicada en el riego, es esencial conocer los requerimientos del cultivo, así como la cantidad de agua de lluvia aportada durante el periodo de crecimiento. La ET es definida como la combinación de dos procesos muy similares a través de los cuales el agua se pierde a la atmósfera. Por un lado, desde la superficie del suelo por evaporación y, por otro, desde el cultivo por el proceso de transpiración (Allen et al., 1998). El efecto del contenido de agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo (Allen et al., 2006).

Los sistemas de conducción, el manejo de la vegetación y las condiciones climáticas, como la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, condicionan en gran medida el consumo de agua (ET) del viñedo (Baeza et al., 2010). Esto es debido a que los requerimientos hídricos de la vid están linealmente relacionados con la cantidad de radiación solar que intercepta (Williams & Ayars, 2005). En lugares donde el agua es escasa y bajo los escenarios de cambio climático proyectados, reducir la cantidad de luz interceptada por el dosel vegetal podría mejorar el estado hídrico del viñedo sin afectar al rendimiento ni a la composición de la uva (Buesa et al., 2018).

1.1.10 Incidencia de la Luz, la Orientación del Viñedo y los Sistemas Agrovoltáicos en el Desarrollo de la Vid

El ambiente lumínico es un factor clave que regula el crecimiento, desarrollo y calidad de la vid, modulando procesos fisiológicos esenciales como la fotosíntesis, síntesis de metabolitos secundarios y maduración del fruto (Smart & Robinson, 1991). La orientación del viñedo condiciona la cantidad y distribución de luz sobre el dosel, afectando la tasa fotosintética, temperatura foliar y balance hídrico, siendo la orientación norte-sur la más eficiente para la captación lumínica y productividad (Poni et al., 2016).

La instalación de sistemas agrovoltáicos, que combinan agricultura y generación fotovoltaica en el mismo espacio físico, introduce un sombreado parcial que altera el microclima y el régimen lumínico, impactando la fotosíntesis y el balance hídrico del cultivo. Dependiendo de la intensidad del sombreado, puede mitigar el estrés térmico y mejorar la calidad del fruto, aunque excesos pueden limitar el rendimiento (Dupraz & Marrou, 2019).

1.2 FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

Ante la problemática que representa para Mendoza y su actividad vitivinícola la escasez de agua y la competencia por su uso de otras actividades, se torna necesario manejar los cultivos optimizando el riego a las necesidades de la vid y a los objetivos productivos.

Dado que en sistemas agrovoltáicos es de esperar que el consumo y la necesidad de agua por parte de las plantas no sea el mismo, este trabajo busca responder cuáles serían esas diferencias, como así también sus efectos sobre el rendimiento.

Por otro lado, si no se regula el estado hídrico de las plantas, un exceso de riego podría generar un aumento del vigor, llevando a un desbalance del equilibrio vegetativo/reproductivo con el consecuente detrimento a nivel productivo y cualitativo.

Los sistemas agrovoltáicos son una forma de producción novedosa y muy reciente, de las cuales no hay información local. Por lo tanto, es de interés aportar información sobre el manejo del riego, a través de este trabajo, de vides cv. Malbec bajo sistemas agrovoltáicos.

1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.3.1 Hipótesis General

- El uso consuntivo de agua de la vid es menor en sistemas agrovoltaicos, independientemente de la orientación de las hileras.

1.3.2 Hipótesis Específicas

- Bajo la sombra de paneles solares simulados el viñedo consume menor cantidad de agua.
- Para mantener el mismo nivel de Ψ_h , la cantidad de agua a aplicar por riego a las vides bajo paneles simulados es menor que a aquellas sin paneles simulados.
- La orientación de las hileras y la sombra generada por sistemas agrovoltaicos afectan el crecimiento vegetativo.
- El rendimiento de la vid varía en función de los paneles solares simulados y de la orientación de las hileras.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de un sistema agrovoltaico y la orientación de hileras sobre el uso consuntivo de agua, crecimiento vegetativo y el rendimiento productivo de un viñedo de la cv. Malbec en Luján de Cuyo, Mendoza.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el coeficiente de cultivo resultante del riego aplicado basado en umbrales de potencial agua foliar en plantas con y sin sombra.
- Cuantificar el riego aplicado para mantener el mismo estado hídrico de las plantas en situación con y sin sombra de paneles simulados.
- Analizar el efecto de la orientación de las hileras y los paneles solares simulados sobre el crecimiento vegetativo.

- Determinar el impacto de los paneles solares simulados y la orientación de las hileras en el rendimiento de la vid.

2 Capítulo II

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 Sitio y material vegetal

El experimento se llevó a cabo durante la temporada 2021/2022 en un viñedo experimental de *Vitis vinifera* cv. Malbec clon 18, en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza (EEA Mendoza) del INTA, ubicado en Luján de Cuyo, Mendoza, (altitud 922 msnm; latitud 33°00'14" sur; longitud 68°51'54" oeste; Figura 1). El viñedo fue implantado el año 2011 con distintas orientaciones de hileras, conducido en espaldero alto, empleando poda en cordón bilateral. En todos los tratamientos se dejaron 30 yemas por planta. El sistema de riego fue por goteo y el viñedo se encuentra protegido con malla antigranizo. El marco de plantación es de 2,50 m entre hileras y 1,50 m entre plantas dentro de la hilera, cada parcela experimental consta de 12 hileras con 385 plantas y una superficie de 1.444 m². El viñedo tiene cuatro orientaciones de hileras (Norte-Sur, Este-Oeste, Sudoeste-Noreste y Sudeste-Noroeste) pero, a los fines del ensayo, únicamente se utilizaron las orientaciones (Norte-Sur y Este-Oeste). Las prácticas culturales realizadas en el ensayo fueron las mismas para todos los tratamientos. El riego se manejó de forma diferenciada.



Figura 1. Vista satelital del viñedo con diferentes orientaciones en la EEA Mendoza del INTA donde se realizó el estudio. En negro, se puede visualizar las parcelas con paneles solares simulados. Imagen captada el (30/08/2022) 33°00'14"S 68°51'54"W 922msnm.

2.1.2 Diseño experimental

El ensayo consistió en un diseño de bloques completos aleatorizados con dos factores y dos niveles cada uno (Figura 2): Orientación de hileras (Norte-Sur y Este-Oeste) y paneles solares simulados (con o sin paneles). El ensayo consistió por lo tanto en 4 tratamientos (T1 = NS-CP = Orientación norte-sur con panel solar simulado, T2 = NS-SP = Orientación norte-sur sin panel solar simulado, T3 = EO-CP = Orientación este-oeste con panel solar simulado y T4 = EO-SP = Orientación este-oeste sin panel solar simulado) con 3 repeticiones cada uno (12 parcelas en total). La unidad experimental corresponde a 10 plantas dispuestas sobre 3 hileras contiguas (30 plantas en total). La unidad de muestreo estuvo compuesta por 5 plantas por repetición y un total de 60 plantas en el ensayo.

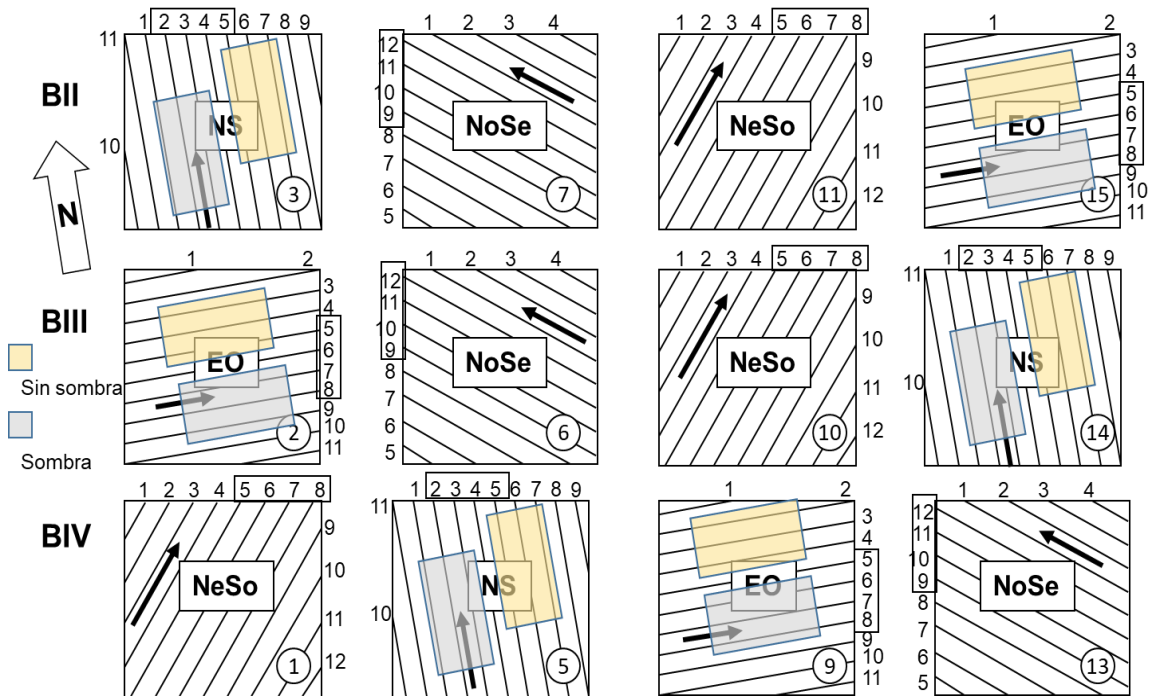


Figura 2. Esquema del diseño experimental indicando las orientaciones de hilera (N-S norte sur, E-O este oeste), ■ parcela con sombra bajo panel solar simulado, ■ tratamiento sin panel solar simulado, 1 a 12 hileras, ① a ⑮ parcelas experimentales.

2.1.3 Variables medidas

2.1.3.1 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación meteorológica automática (IMetos2, Pessl Instruments GmbH, Weiz, Austria) perteneciente al Grupo Peñaflor, ubicada aproximadamente a 10 km del ensayo experimental. La estación recolectaba datos de temperatura, radiación solar (W/m^2), precipitación, velocidad del viento y humedad relativa. A partir de las variables medidas calcula la ET_O , mediante la ecuación de Penman- Monteith (Allen et al., 2006), la cual fue aplicada para la estimación de las necesidades hídricas en los cuatro tratamientos del estudio.

2.1.3.2 Manejo del riego

El manejo del riego, oportunidad y cantidad de agua, se realizó combinando la ET_O con el $\Psi_{f,md}$. Los riegos fueron aplicados los días martes y/o viernes de cada semana siempre y cuando el valor de $\Psi_{f,md}$ medido los días anteriores (lunes y jueves) estuvieran por debajo del umbral elegido para criterio de riego. La cantidad de agua a aplicar se calculó teniendo en cuenta la ET_O , calculada por la ecuación de FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006) desde el riego anterior y el coeficiente de cultivo (K_c) estimado a partir de la sombra proyectada de la canopia (Williams & Ayars, 2005) que fue calculado para cada uno de los tratamientos en estudio. La cantidad de agua en mm necesaria fue calculada a partir del K_c multiplicado por la sumatoria de la evapotranspiración diaria entre los riegos. Luego, el dato obtenido del riego necesario en mm se dividió por el caudal de los goteros ($1,06 \text{ mm h}^{-1}$), para obtener la cantidad de horas a regar las parcelas experimentales.

Para poder manejar las parcelas independientemente, se instalaron derivaciones de mangueras ciegas a modo de “bypass” con válvulas en las parcelas con paneles. Esto permitió suspender el riego en estas parcelas cuando no era necesario, pero no dejar de regar las parcelas sin paneles.

2.1.3.3 Potencial hídrico

Se midió $\Psi_{f,md}$ a las 13:45 h, dos veces por semana, lunes y jueves, días anteriores a los posibles riegos. Se midieron hojas adultas, sanas y expuestas directamente al sol, del tercio medio del pámpano. Antes de ser recolectadas se embolsaban en una bolsa de polietileno y posteriormente se cortaba el peciolo transversalmente a cinco centímetros del limbo con un cúter para inmediatamente colocar dentro de la cámara de presión (Modelo 2, Biocontrol, Buenos Aires). Se midieron tres hojas por parcela y se realizaron por bloques, tomando en cuenta que todos los tratamientos fueran medidos dentro del mismo rango horario.

En dos ocasiones durante el ciclo, el 14/02/2022 y el 10/03/2022, se realizaron dinámicas diarias de mediciones cada 2.5 h desde preamanecer a las 05:30 h hasta atardecer a las 20:30 h con la cámara de presión. Los valores seleccionados durante todo el ciclo para la decisión de riego fueron:

Tabla 1. Valores de $\Psi_{f,md}$ de la temporada 2021/22

N.º	Etapas fenológica	Fechas	Umbral
1.	Bayas aún duras y verdes	18/11/2021 hasta 06/01/2022	-1,40 MPa
2.	Las bayas comienzan a colorearse y a agrandarse	10/01/2022 hasta 08/02/2022	-1,25 MPa
3.	Bayas maduras para la Cosecha	11/02/2022 hasta 29/03/2022	-1,45 MPa
4.	Después de cosecha	01/04/2022 hasta 11/04/2022	-1,25 MPa
5.	Caída de hojas	14/04/2022 hasta 21/04/2022	-1 MPa

2.1.3.4 Estimación del Kc por sombra proyectada

El coeficiente de cultivo Kc fue calculado a partir de la sombra proyectada de la canopia (Williams & Ayars, 2005). Esta metodología consistió en la toma de fotografías por tratamiento una vez a la semana, al mediodía solar, con una cámara digital. Luego se determinó el % de sombreado mediante software de análisis de imágenes (GIMP 2.10.12).

Se calculó el Kc multiplicando el porcentaje de área sombreada por 0,017, valor que corresponde a la pendiente de la relación entre Kc y superficie sombreada, determinada en ensayos previos con vides *Thompson Seedless* cultivadas en un lisímetro.

2.1.3.5 Humedad del suelo y densidad aparente

2.1.3.5.1 Humedad del suelo

Se midió el contenido de agua del suelo por método gravimétrico a tres profundidades diferentes (0-30, 30-60 y 60-90 cm) mediante seis muestreos durante todo el ciclo, desde el 25/11/2021 hasta el 06/05/2022. Los muestreos se realizaron con un barreno (mod. Edelman, Eijkelkamp, Giesbeek, Países Bajos) y las muestras extraídas se llevaron al laboratorio para determinar su peso húmedo. Luego se secaron en estufa a 105°C por 24 h y se pesaron nuevamente para determinar su peso seco. Finalmente se calculó el % de humedad gravimétrico de la muestra. Las muestras de suelo fueron extraídas a 30 cm desde la base del tronco principal de la vid, y a 25 cm del gotero más próximo del sistema de riego por goteo.

2.1.3.5.2 Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo se determinó a tres profundidades diferentes (0-30, 30-60 y 60-90 cm), mediante el método del cilindro. Para este método se utilizó un muestreador (modelo C53, Eijkelkamp, Giesbeek, Países Bajos) que consta de un cilindro metálico en su extremo inferior en cuyo interior alberga un cilindro removible de 5 cm de altura que encaja a 3 cm de su tope superior. El cilindro interno posee el mismo diámetro interior que la boca del externo (5 cm). El volumen interno del cilindro removible es de 100 cm³. Una vez extraído el muestreador del suelo se retiró el cilindro interior y se enrasó la muestra cortando cuidadosamente con un cuchillo el suelo excedente por encima y por debajo. Los cilindros enrasados se llevaron al laboratorio para su secado en estufa a 105 °C hasta que alcanzaron un peso constante. La densidad aparente fue calculada dividiendo el peso seco de la muestra por el volumen.

2.1.3.6 Estados fenológicos

Las fechas de ocurrencia para los estados fenológicos se registraron de manera visual, según la escala Eichhorn y Lorenz modificada por Coombe (1995). Se consideró brotación (estado E-L 4: 50% de las yemas punta verde), floración (estado E-L 23: plena floración), y envero (estado E-L 35: ablandamiento y colorado de bayas). Se consideró pleno estado

cuando >50% de las plantas de una unidad experimental presentaban ese estado. Para la floración y envero se tenían racimos previamente identificados y marcados.

2.1.3.7 Crecimiento vegetativo

2.1.3.7.1 Porcentaje de brotación

El porcentaje de brotación se calculó como el cociente entre el número de yemas que brotaron en el ciclo de crecimiento 2021/22 y el total de yemas dejadas en la poda del invierno anterior, realizada en cordón bilateral. En este estudio, se dejaron 30 yemas por planta. Para el cálculo, no se consideraron chupones ni brotes dobles

2.1.3.7.2 Longitud de brotes

Se midió la longitud de brotes dos veces por semana, desde brotación. El seguimiento se realizó en un brote de cada pitón seleccionado previamente, identificado con un precinto indicando el número de planta y parcela correspondiente. Las mediciones comenzaron el 27/09/2021 y se extendieron hasta el 23/11/2021, fecha en la que se realizaron las prácticas de despunte y el despampanado. Posteriormente, se continuó con el monitoreo de crecimiento de feminelas, desde el 01/12/2021 hasta el 02/02/2022 momento en el cual se hizo un segundo despunte. Finalmente, se registró el crecimiento de feminelas de segundo orden desde el 09/02/2022 hasta el 16/03/2022.

2.1.3.7.3 Despunte y Despampanado

La práctica del despampanado se la realizó de forma manual en todas las parcelas el 24/11/2021, con el objetivo de eliminar los brotes no productivos, específicamente chupones y brotes dobles. Un segundo despampanado se efectuó el 08/02/2022.

El despunte se realizó en dos ocasiones, coincidiendo con las fechas en que se llevó a cabo el despampanado. Esta práctica se aplicó en las plantas previamente seleccionadas para la medición de longitud de brotes, cortándolos a una altura de 5 cm por encima de la malla antigranizo. En cada caso, se registró el peso fresco del segmento apical removido.

2.1.3.7.4 Peso de poda

Al final de la temporada, el 29/07/2022, se determinó el peso de poda mediante el pesaje de los sarmientos provenientes de la unidad de muestreo, compuesta por cinco plantas seleccionadas por unidad experimental.

2.1.3.8 Seguimiento de madurez

Los °Brix se midieron con refractómetro digital de bolsillo (PAL-1, Atago, Japón). Las muestras de 20 bayas por unidad experimental fueron tomadas al azar una vez a la semana a partir del inicio del envero.

2.1.3.9 Rendimiento y Componentes del rendimiento

La cosecha se realizó de forma manual cuando la uva alcanzó 25° Brix. Primero se cosecharon las parcelas sin paneles solares simulados, el 14/03/2022. Posteriormente, se cosecharon las parcelas bajo paneles solares, el 18/03/2022. Al momento de cosecha se registraron los componentes del rendimiento número de racimos por planta, racimos por brote, número de bayas por racimo, peso del racimo, peso de la baya y rendimiento por planta.

2.1.3.10 Índice de Ravaz

El índice de Ravaz se calculó como el cociente entre el rendimiento de la cosecha y el peso de poda obtenido al final de la misma temporada. Este índice proporciona una medida de la relación entre la producción de uvas y el crecimiento vegetativo.

2.1.4 Análisis estadístico

En todos los casos se realizaron pruebas de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas por la prueba de Levene's. Luego los datos fueron sometidos a ANOVA con un nivel de significancia de 0,05 seguido de comparación de medias de Tukey.

3 Capítulo III

3.1 Resultados

3.1.1 Condiciones ambientales

Los datos meteorológicos recopilados durante la temporada 2021/2022, presentados en la Figura 3, muestran una temperatura media general de 19,3°C. En comparación, la temperatura media anual histórica en Luján de Cuyo, registrada entre 1988 y 2021, es aproximadamente 16°C, lo que indica que la temporada 2021/2022 fue más cálida que el promedio histórico. El mes de enero presentó las temperaturas más altas, con un promedio de 25,3 °C, mientras que diciembre registró la mayor precipitación, alcanzando 59 mm.

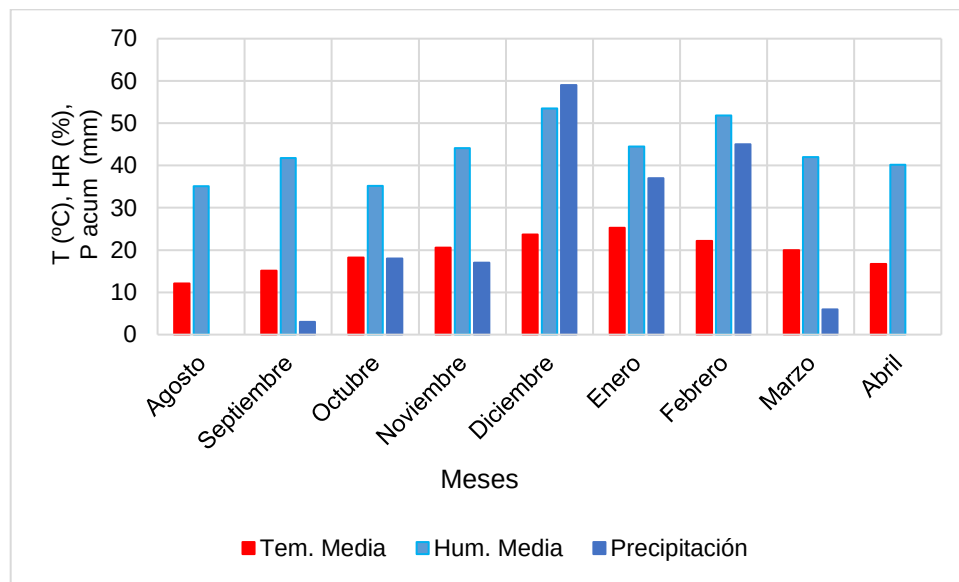


Figura 3. Promedios mensuales de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación acumulada mensual (mm) durante el periodo comprendido entre agosto de 2021 a abril de 2022, para la localidad de Luján de Cuyo, provincia de Mendoza, Argentina.

La precipitación acumulada a lo largo de la temporada en estudio desde el 01/08/2021 hasta el 18/04/2022 fue de 185 mm, inferior al promedio histórico anual (1988-2021) de 250 mm. Esto indica que la temporada fue más seca de lo normal, con un déficit aproximado del 26 % en relación con los valores históricos. Aunque no se trata de una sequía extrema, esta reducción en las precipitaciones sugiere condiciones de menor disponibilidad hídrica durante el ciclo productivo.

3.1.2 Riego

Los tratamientos sin paneles solares simulados recibieron mayor número de riegos que aquellos con paneles solares simulados debido a que sus valores de $\Psi_{f,md}$ estuvieron en más oportunidades por debajo del umbral establecido para regar (Figura 4).

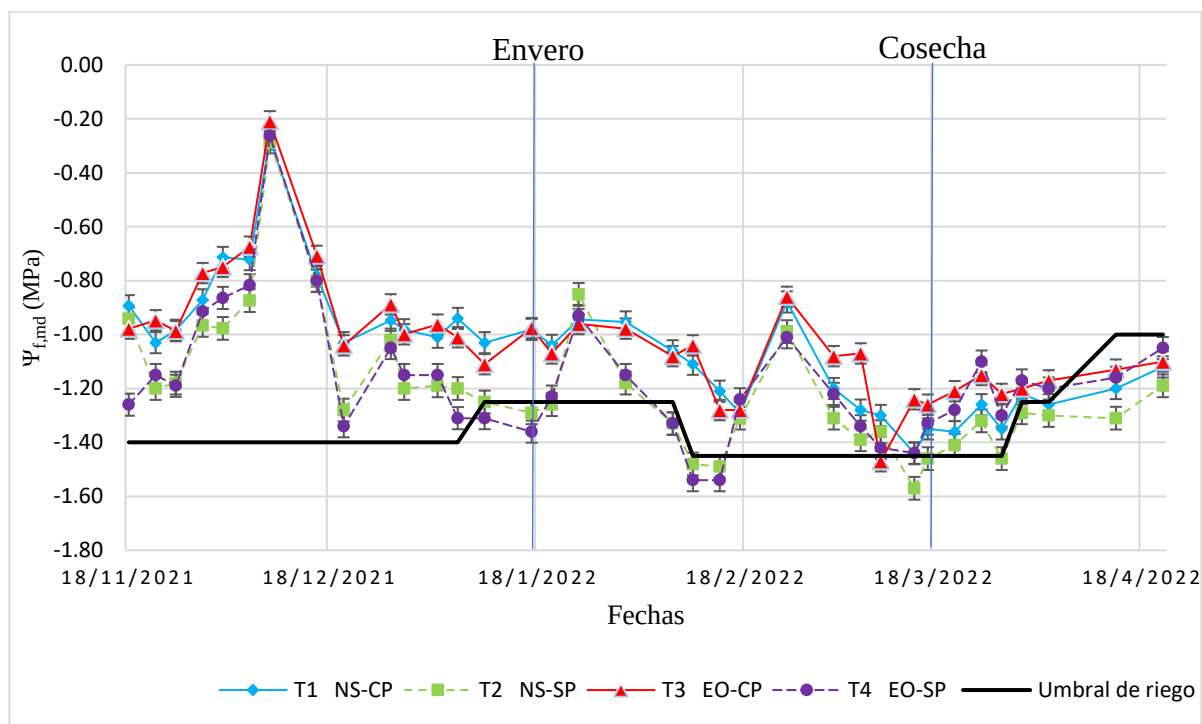


Figura 4. Promedio de cada medición del Potencial hídrico foliar al mediodía ($\Psi_{f,md}$; MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. El umbral de riego utilizado durante el ciclo 2020/21 Luján de Cuyo, Mendoza se marca con línea negra continua. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Etapas fenológicas (I). Las barras indican el error estándar.

Se realizaron 30 riegos desde el 2/08/2021 hasta el 11/11/2021 a todas las parcelas experimentales (Figura 5). Posteriormente, el 18/11/2021, se comenzaron las mediciones de Ψ_h y a manejar en forma diferencial el riego entre los tratamientos con paneles y sin paneles solares simulados.

Desde el 18/11/2021 hasta el 18/04/2022, se aplicaron 13 riegos a los tratamientos sin paneles solares simulados (T2 NS-SP y T4 EO-SP), con un total de 133 mm de riego acumulado. Las parcelas con paneles solares simulados (T1 NS-CP y T3 EO-CP), solo se regaron en dos ocasiones, acumulando 22 mm de riego.

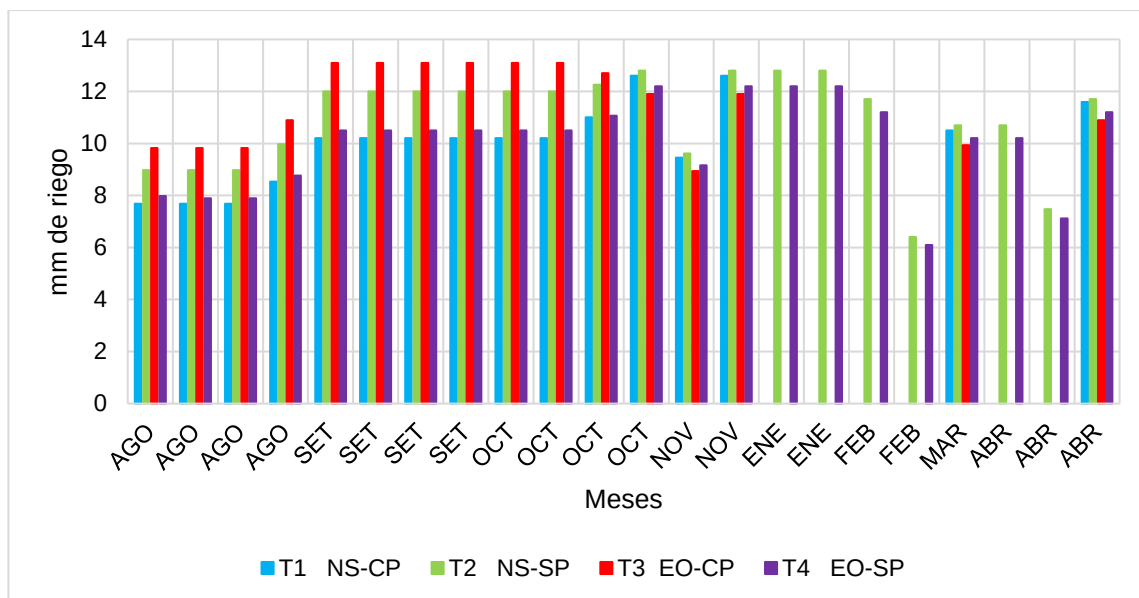


Figura 5. Riegos aplicados en la temporada 2021/22. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

3.1.3 Riego acumulado

El manejo diferenciado del riego de los diferentes tratamientos empezó el 18/11/2021. A partir de esa fecha, los tratamientos sin paneles solares simulados recibieron más riego, el tratamiento T2 NS-SP recibió 133 mm, seguido por el tratamiento T4 EO-SP con 127 mm. En contraste, los tratamientos con paneles solares simulados recibieron menos riego, el tratamiento T1 NS-CP recibió 22 mm y el tratamiento T3 EO-CP 21 mm.

El tratamiento T2 NS-SP presentó la mayor cantidad de riego acumulado a lo largo de la temporada con 469 mm, seguido del tratamiento T4 EO-SP, con 427 mm y posteriormente el tratamiento T3 EO-CP, con 377 mm (Figura 6). Finalmente, el tratamiento que presentó menor riego acumulado a lo largo de toda la temporada fue T1 NS-CP con 318 mm. Cabe recalcar que se aplicó la misma cantidad de horas de riego entre los tratamientos T1 NS-CP y T3 EO-CP y entre T2 NS-SP y T4 EO-SP.

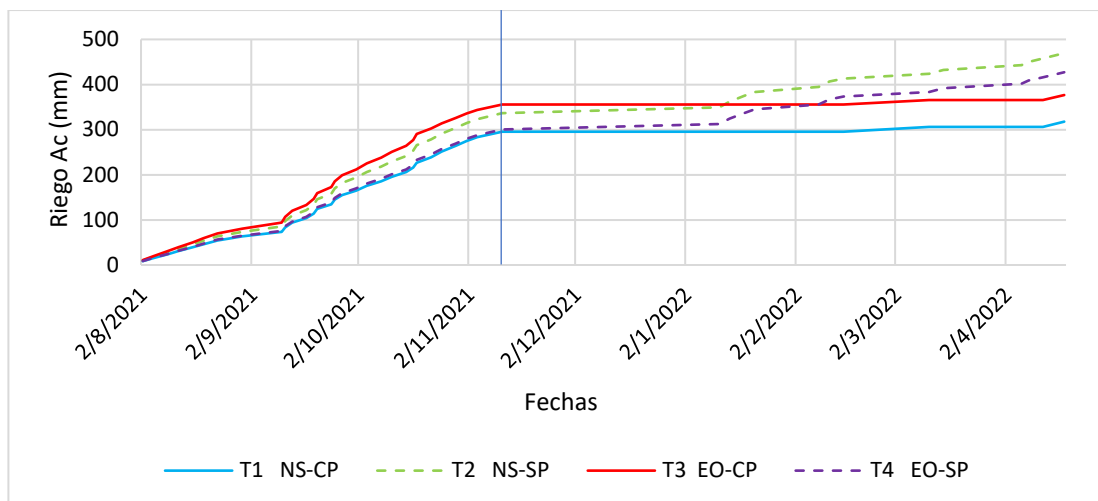


Figura 6. Riego acumulado (Riego Ac; mm) de las parcelas experimentales en estudio en el ciclo 2021/22. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Inicio del manejo diferenciado del riego (|).

3.1.4 Potencial hídrico

Las mediciones del $\Psi_{f,md}$ (MPa) se realizaron dos veces por semana durante el periodo comprendido entre 18/11/2021 y el 21/04/2022. Se realizó un ANOVA de los promedios de los Ψ_h de la temporada (Figura 7).

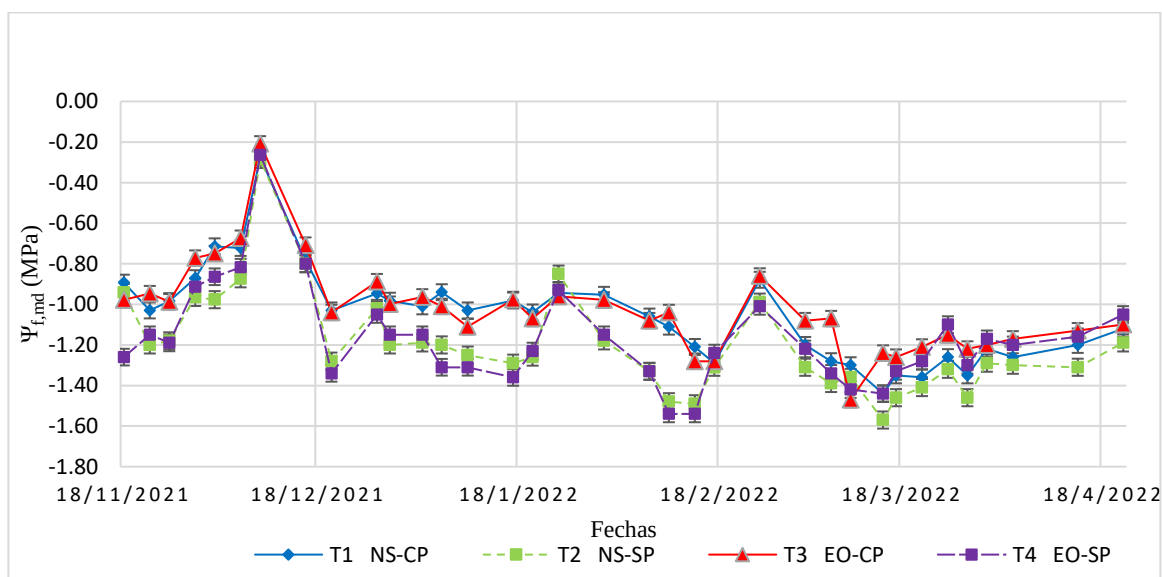


Figura 7. Potencial hídrico foliar al mediodía ($\Psi_{f,md}$; MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.

Los tratamientos iniciaron con valores de $\Psi_{f,md}$ de -0,89 MPa para T1 NS-CP, -0,94 MPa para T2 NS-SP, -0,98 MPa para T3 EO-CP y -1,25 MPa para T4 EO-SP. Al finalizar, las mediciones luego de la cosecha fueron de -1,12 MPa para T1 NS-CP, de -1,19 MPa para T2 NS-SP, -1,10 MPa para T3 EO-CP y -1,05 MPa para T4 EO-SP (Figura7). El valor de Ψ_f de -0,20 MPa registrado el 9/12/2021 puede deberse a nubosidad y precipitación de 22 mm.

Luego del ANOVA para el $\Psi_{f,md}$ del ciclo 2021/22 (Tabla 2), se encontró que ni la interacción entre orientación de hilera y panel, ni el efecto orientación de hilera fueron significativos. Sí se encontraron diferencias entre los tratamientos bajo paneles solares simulados y los tratamientos sin paneles solares simulados.

Los tratamientos bajo paneles solares simulados mantuvieron valores de Ψ_h más altos a lo largo de todo el ciclo, con un valor promedio de -1,04 MPa. Esto quiere decir que las plantas se mantuvieron con un mejor estado hídrico a lo largo de todo el ciclo en comparación con los tratamientos sin paneles solares simulados, que presentaron un valor promedio de Ψ de -1,18 MPa.

Tabla 2. $\Psi_{f,md}$, tomado en el ciclo 2021/22

Tratamiento	$\Psi_{f,md}$ (MPa)
Orientación	
N-S	-1,10 a
E-O	-1,13 a
Panel	
Con Panel	-1,04 a
Sin Panel	-1,18 b
Interacción Orientación x Panel	ns
ANOVA	
$P_{(Orientación)}$	0,551
$P_{(Panel)}$	0,009
$P_{(Interacción Orientación x Panel)}$	0,931

Nota. Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

3.1.5 Dinámicas diarias de Ψ_f

3.1.5.1 Dinámica diaria de Ψ_f (14/02/2022)

Los menores valores de Ψ_f se registraron a las 15:30, con valores de -1,54 MPa y -1,49 MPa, en los tratamientos sin paneles solares T2 NS-SP y T4 EO-SP, respectivamente (Figura 8). A las 13:00 se observaron las mayores diferencias entre los tratamientos sin paneles solares simulados y los tratamientos con paneles solares simulados, mientras que los mayores valores en todos los tratamientos se presentaron a las 5:30.

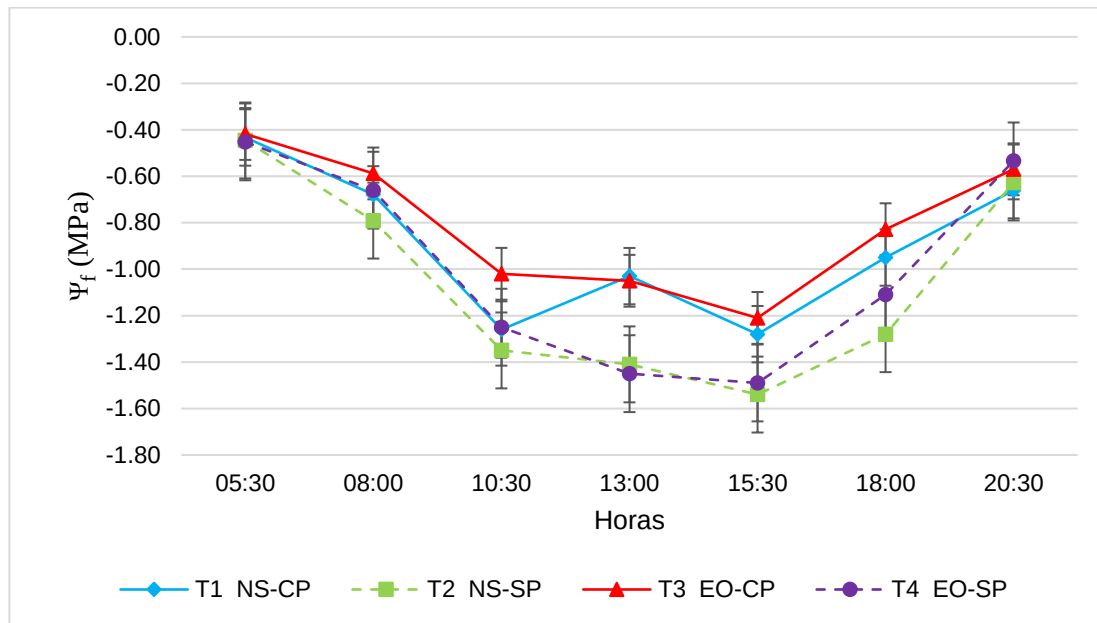


Figura 8. Dinámica diaria (14/02/2022) del potencial hídrico foliar (Ψ_f ; MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.

En cuanto a la dinámica del Ψ_f del 14/02/22, se determinó que la interacción entre orientación y panel no fue significativa en ningún horario del día (Tabla 3). En cuanto al factor orientación, únicamente se encontraron diferencias significativas a las 10:30, cuando los tratamientos con orientación N-S presentaron los menores valores de Ψ_f (-1,31 MPa) en comparación con los tratamientos E-O (-1,14 MPa). El factor panel presentó diferencias significativas a las 10:30, 13:00, 13:30 y 18:00. Los tratamientos sin paneles solares simulados presentaron un Ψ_h menor en todos los horarios mencionados.

Tabla 3. Efecto de la orientación de hileras y la sombra proyectada por paneles solares simulados sobre la marcha diaria del Ψ_f (MPa) el (14/02/2022), en la cv. Malbec clon 18 en Luján de Cuyo, Mendoza. (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (con panel solar simulado, sin panel solar simulado).

Tratamiento	Hora 5:30	Hora 8:00	Hora 10:30	Hora 13:00	Hora 15:30	Hora 18:00	Hora 20:30
Orientación							
N-S	-0,44 a	-0,73 a	-1,31 b	-1,22 a	-1,41 a	-1,12 a	-0,64 a
E-O	-0,44 a	-0,63 a	-1,14 a	-1,25 a	-1,35 a	-0,97 a	-0,55 a
Panel							
Con Panel	-0,43 a	-0,63 a	-1,14 a	-1,04 a	-1,25 a	-0,89 a	-0,62 a
Sin Panel	-0,45 a	-0,73 a	-1,30 b	-1,43 b	-1,52 b	-1,20 b	-0,58 a
Interacción Orientación x Panel	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ANOVA							
$P_{(Orientación)}$	0,811	0,133	0,014	0,650	0,273	0,058	0,065
$P_{(Panel)}$	0,321	0,192	0,018	0,001	0,003	0,003	0,435
$P_{(Interacción Orientación x Panel)}$	0,482	0,740	0,230	0,855	0,862	0,739	1,000

Nota. Medias dentro de una misma columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

3.1.5.2 Dinámica diaria de Ψ_f (10/03/2022)

Como se puede apreciar en la Figura 9, los menores valores de Ψ_f se presentaron a las 13:30 h, en los tratamientos sin paneles solares simulados (-1,48 MPa), mientras que los valores más altos en todos los tratamientos se presentaron a las 6:00 h. También se puede observar que los valores de potencial variaron a lo largo del día, siendo menores a medida que se acercan el mediodía.

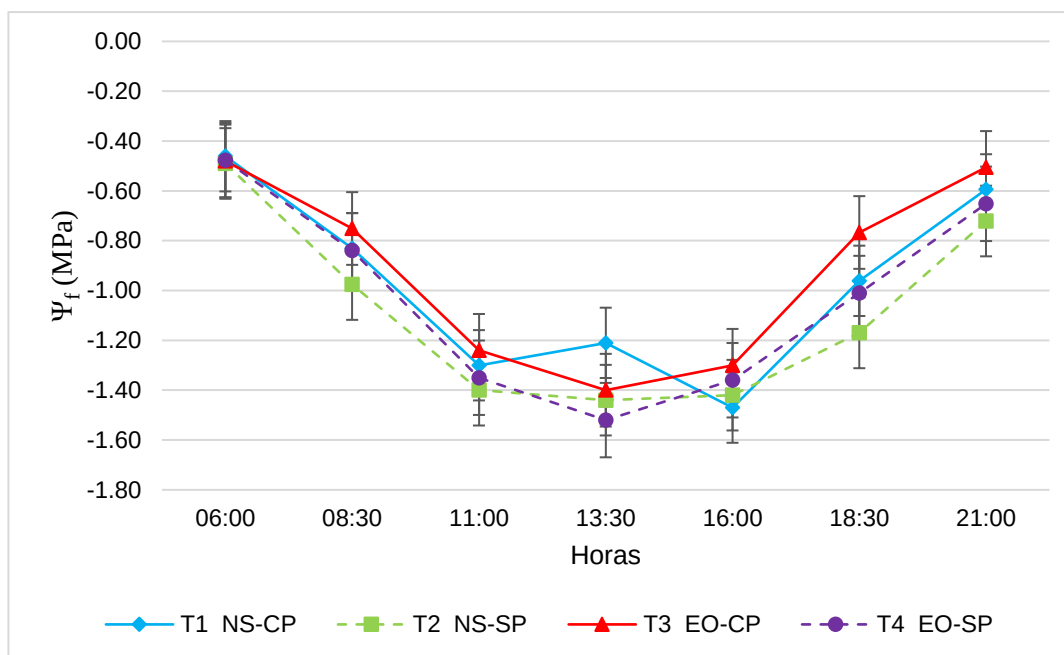


Figura 9. Dinámica diaria (10/03/2022) del potencial hídrico foliar (Ψ_f ; MPa) en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Las barras indican el error estándar.

En esta segunda dinámica diaria de Ψ_f , luego del ANOVA, se determinó que la interacción orientación * panel no fue significativa en ningún momento del día (Tabla 4). Tampoco hubo diferencias para el factor orientación, pero sí se evidenciaron diferencias en el factor panel a las 11:00 h, 13:30 h, 18:30 h y 21:00 h, siendo los tratamientos sin paneles solares los que presentaron valores de Ψ_f significativamente menores en comparación con aquellas con paneles solares simulados, reflejando un mayor grado de estrés hídrico. A las 11:00 h, el Ψ_f fue de -1,37 MPa en el tratamiento sin panel solares simulados, frente a -1,27 MPa a los tratamientos con panel solares simulados, mientras que a las 13:30 h se observó una diferencia aún mayor (-1,48 MPa vs. -1,31 MPa, respectivamente).

Tabla 4. Efecto de la orientación de hilera y la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la marcha diaria del Ψ_f (MPa) el (10/03/2022), en la cv. Malbec clon 18 en Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (con panel solar simulado, sin panel solar simulado).

Tratamiento	Hora 6:00	Hora 8:30	Hora 11:00	Hora 13:30	Hora 16:00	Hora 18:30	Hora 21:00
Orientación							
N-S	-0,48 a	-0,91 a	-1,35 a	-1,33 a	-1,45 a	-1,07 a	-0,58 a
E-O	-0,48 a	-0,80 a	-1,30 a	-1,46 a	-1,33 a	-0,89 a	-0,66 a
Panel							
Con Panel	-0,47 a	-0,79 a	-1,27 a	-1,31 a	-1,39 a	-0,86 a	-0,55 a
Sin Panel	-0,48 a	-0,91 a	-1,37 b	-1,48 b	-1,39 a	-1,10 b	-0,69 b
Interacción Orientación x Panel	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ANOVA							
$P_{(Orientación)}$	0,974	0,128	0,141	0,086	0,056	0,064	0,094
$P_{(Panel)}$	0,821	0,110	0,020	0,038	0,924	0,024	0,015
$P_{(Interacción Orientación x Panel)}$	0,772	0,661	0,806	0,481	0,343	0,820	0,812

Nota. Medias dentro de una misma columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

3.1.6 Evapotranspiración del cultivo desde brotación

La ET_c se calculó teniendo en cuenta la ET_o , calculada por la ecuación de FAO Penman-Monteith y el K_c estimado a partir de la sombra proyectada de la canopia según Williams y Ayars (2005). Los datos de ET_c fueron usados para todos los tratamientos en estudio.

La ET_c acumulada a lo largo del ciclo fue de 468 mm (Figura 10). Los riegos a lo largo del ciclo de los tratamientos con paneles solares simulados sumaron 209 mm, mientras que en aquellos sin paneles solares simulados sumaron 311 mm. La precipitación efectiva acumulada fue de 157 mm.

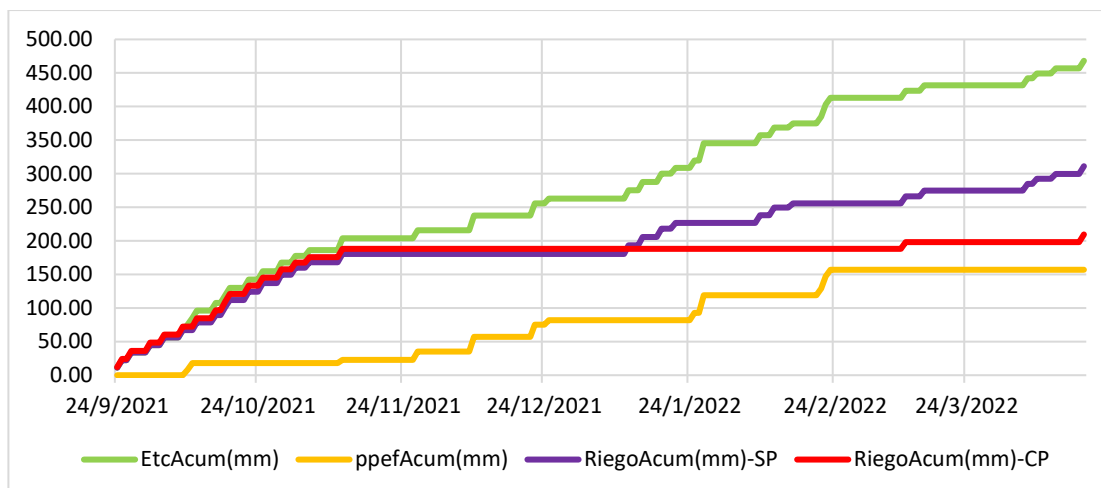


Figura 10. ET_c acumulada (EtcAcum), precipitación efectiva acumulada (ppefAcum), riego acumulado desde brotación sin panel solar simulado (RiegoAcum-SP) y con panel solar simulado (RiegoAcum-CP). Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza.

3.1.7 Contenido hídrico del suelo

3.1.7.1 Profundidad 0-30 cm

Los meses de noviembre, abril y mayo indicaron que la humedad a 0-30 cm de profundidad fue similar entre los tratamientos (Figura 11).

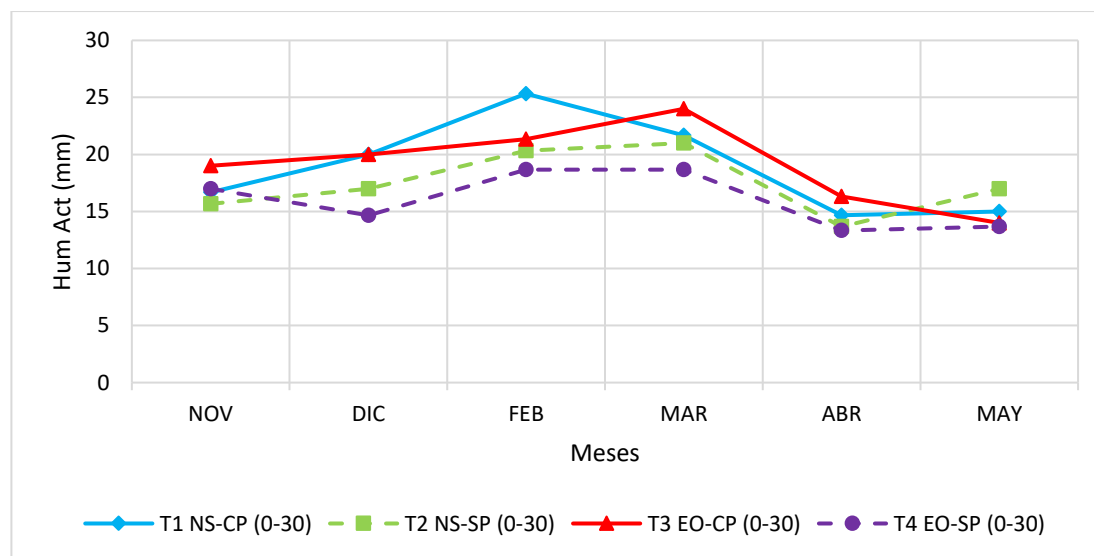


Figura 11. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 0-30 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones.

3.1.7.2 Profundidad 30-60 cm

En cuanto a la humedad del suelo a una profundidad de 30-60 cm (Figura 12), observamos que en diciembre los tratamientos sin paneles solares presentan valores alejados de los tratamientos con paneles solares simulados, pero en febrero, se asemejan.

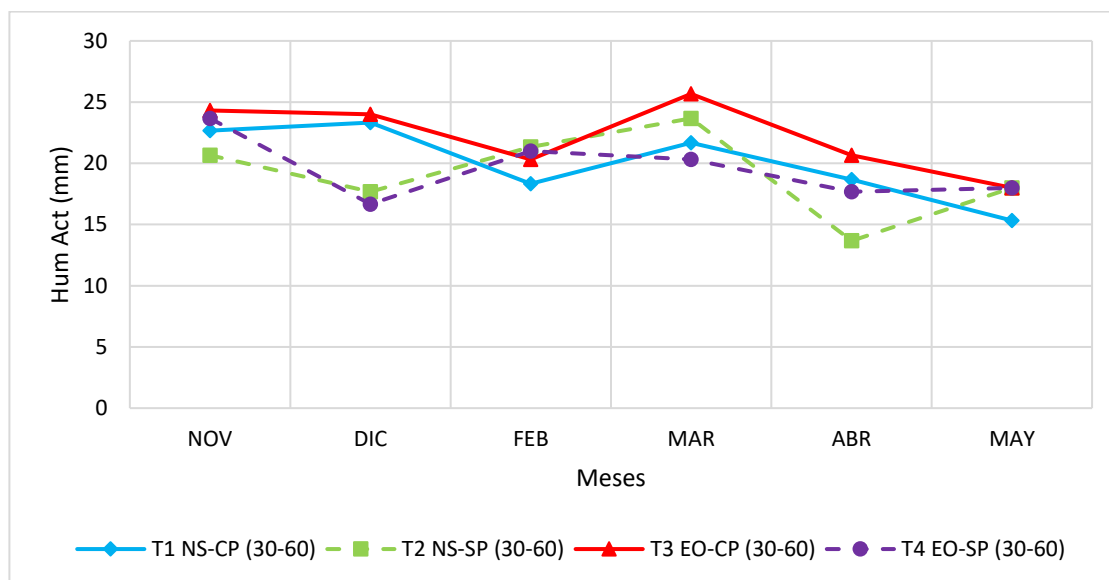


Figura 12. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 30-60 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones.

3.1.7.3 Profundidad 60-90 cm

En cuanto a la humedad del suelo a una profundidad de 60-90 cm, la Figura 13 muestra que en el mes de febrero los valores de humedad entre tratamientos fueron más próximos entre sí en comparación con los meses anteriores, con excepción del tratamiento T2 NS-SP, que presenta menores valores.

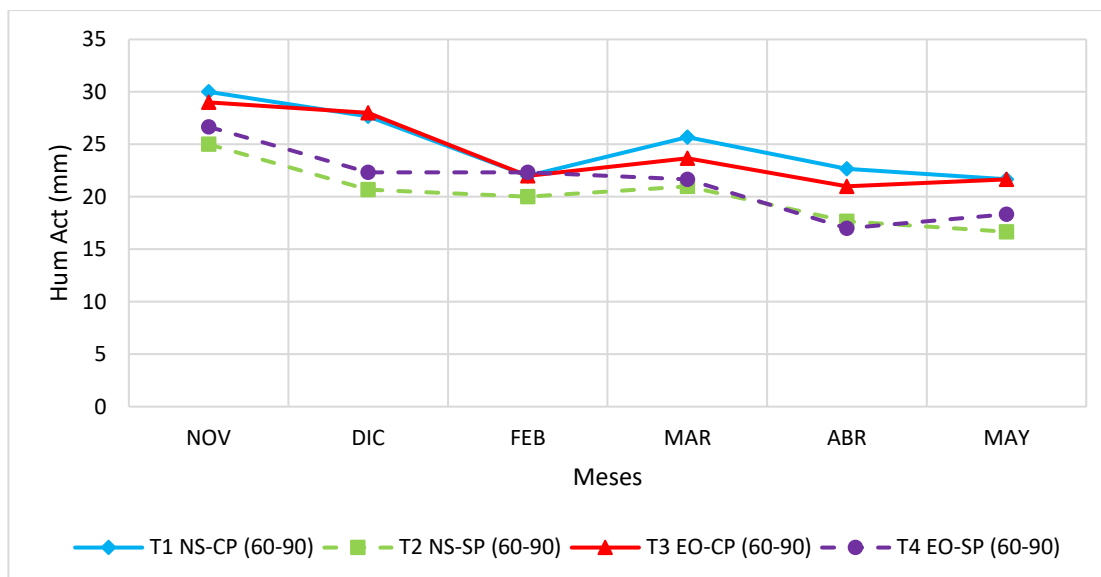


Figura 13. Efecto de la orientación de hileras y de la sombra proyectada por los paneles solares simulados sobre la humedad del suelo (mm) medida a los 60-90 cm de profundidad en cv. Malbec clon 18, en Luján de Cuyo, Mendoza en el ciclo del cultivo 2021/22. NS: orientación norte-sur; EO: orientación este-oeste; SP: sin panel solar simulado; CP: con panel solar simulado. Los valores para cada fecha son medias de 3 repeticiones

En relación con la humedad del suelo (mm) a distintas profundidades estudiadas (0-30, 30-60 y 60-90 cm), el análisis ANOVA (Tabla 5) indicó que la interacción entre orientación y panel no fue significativa en ninguna de las tres profundidades estudiadas. Asimismo, no se encontraron diferencias en la humedad del suelo en ninguno de los factores a lo largo del período de estudio entre los tratamientos.

Los valores de humedad del suelo (mm), se mantuvieron entre los 17,8 mm a los 23,1 mm en el factor orientación, mientras que en el factor panel los valores oscilaron entre los 17,1 mm a los 25,0 mm.

Aunque no se observaron diferencias estadísticas, los valores promedio indicaron una mayor humedad del suelo bajo los tratamientos con paneles solares simulados, especialmente en la capa más profunda (60-90 cm), donde se registró un contenido hídrico superior.

Tabla 5. Humedad de suelo (mm) a tres diferentes profundidades (0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm). Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.

Tratamiento	Profundidad 0-30 cm	Profundidad 30-60 cm	Profundidad 60-90 cm
Orientación			
N-S	18,7 a	21,3 a	23,0 a
E-O	17,8 a	19,8 a	23,2 a
Panel			
Con Panel	19,3 a	21,2 a	25,0 a
Sin Panel	17,2 a	20,0 a	21,2 a
Interacción Orientación x Panel	ns	ns	ns
ANOVA			
P _(Orientación)	0,731	0,438	0,941
P _(Panel)	0,386	0,543	0,126
P _(Interacción Orientación x Panel)	0,731	0,661	0,713

Nota. Medias dentro de una misma columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

La Figura 14 muestra de humedad del suelo (mm), en las dos diferentes orientaciones en estudio, Norte-Sur y Este-Oeste. En marzo se presentan valores similares entre las dos orientaciones y en las tres profundidades analizadas. Además, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el factor orientación.

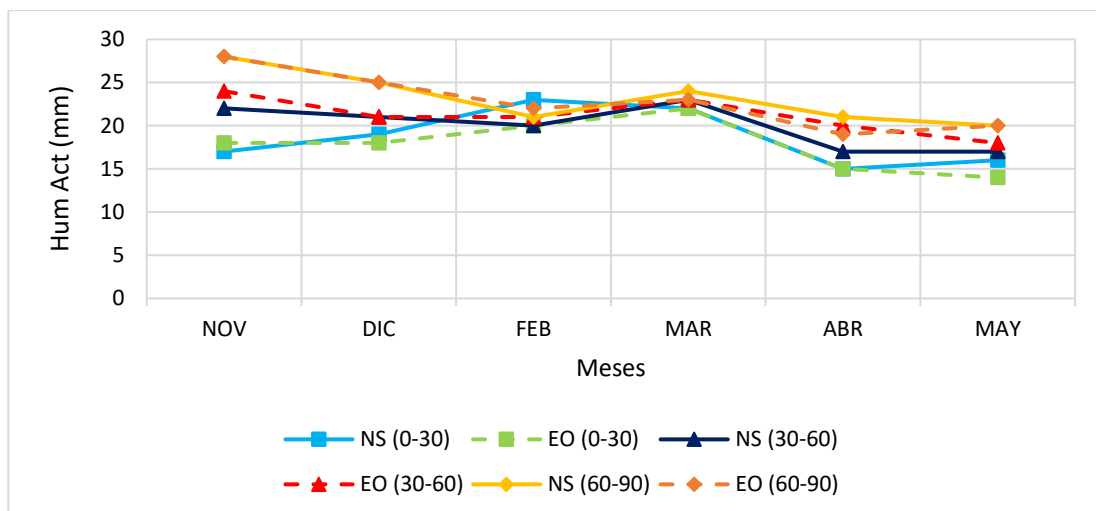


Figura 14. Humedad del suelo (mm). Profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Orientaciones (NS norte-sur, EO este-oeste).

En la Figura 15 podemos observar que en febrero los tratamientos tuvieron una mayor uniformidad en la humedad. Además, a mayor profundidad del suelo (60-90 cm) la humedad se conserva con valores más altos tanto en los tratamientos con paneles solares simulados, como en los tratamientos sin paneles solares simulados.

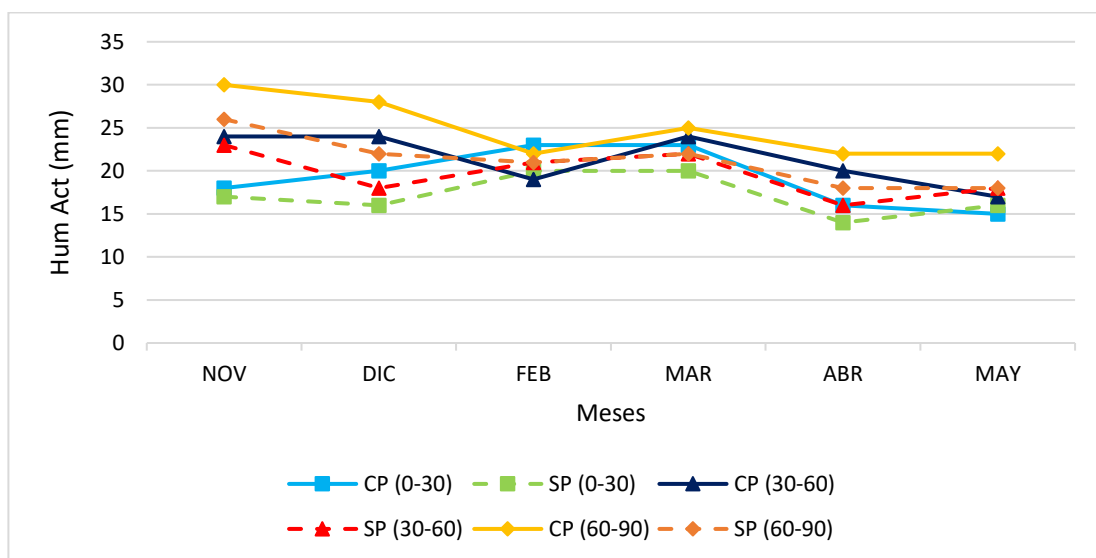


Figura 15. Humedad del suelo (mm). Profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Paneles solares simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

3.1.8 Fenología

El ciclo desde brotación a cosecha fue de 177 días en los tratamientos bajo paneles solares simulados y de 172 días en los tratamientos sin paneles solares simulados independientemente de la orientación de hileras, que no presentaron diferencias para esta variable. En cuanto a la floración hubo una diferencia de un día entre los tratamientos, siendo los tratamientos con paneles solares los que presentaron ese estado 42 días después de la brotación y los tratamientos sin paneles solares simulados, 43 días después de la brotación. El envero se presentó 114 días después de la brotación en el tratamiento T4 EO-SP, y 119 después de la brotación en el tratamiento T3 EO-CP. Estos datos fenológicos se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Determinación e identificación de estados fenológicos según el sistema desarrollado por Eichorn-Lorenz (1977) y modificado por Coombe (1995).

Estado Fenológico	Identificación fenológica según E-L modificado	Tratamiento	Fecha	Días desde brotación
Brotación	50% de las yemas punta verde (4)	T1 NS-CP	22/9/2021	0
		T2 NS-SP	23/9/2021	0
		T3 EO-CP	22/9/2021	0
		T4 EO-SP	23/9/2021	0
Floración	Plena floración (23)	T1 NS-CP	3/11/2021	42
		T2 NS-SP	4/11/2021	43
		T3 EO-CP	3/11/2021	42
		T4 EO-SP	4/11/2021	43
Envero	Ablandamiento y coloración de bayas (35)	T1 NS-CP	18/1/2022	118
		T2 NS-SP	15/1/2022	115
		T3 EO-CP	19/1/2022	119
		T4 EO-SP	14/1/2022	114
Cosecha	Bayas maduras (38)	T1 NS-CP	18/3/2022	177
		T2 NS-SP	14/3/2022	172
		T3 EO-CP	18/3/2022	177
		T4 EO-SP	14/3/2022	172

3.1.9 Crecimiento vegetativo

En cuanto a la interacción entre la orientación y panel, el análisis reveló que no fue significativo en ninguna de las variables estudiadas. De igual manera, no se encontraron diferencias en el factor orientación en ninguno de los casos analizados.

Por otro lado, en lo que respecta al factor panel, se observaron diferencias significativas en casi todas las variables estudiadas, salvo en el crecimiento de feminelas de segundo orden antes del segundo despunte, donde no se presentaron diferencias significativas.

En relación al porcentaje de brotación, los tratamientos sin paneles solares simulados presentaron un 90,61 % de brotación, mientras que los tratamientos con paneles solares simulados mostraron un porcentaje menor de 82,76 %. Asimismo, los tratamientos sin paneles solares presentaron un mayor número de brotes por planta, con un promedio de 28,37 brotes, mientras que los tratamientos bajo paneles solares simulados tuvieron un promedio de 24,73 brotes por planta (Tabla 7).

Respecto a la longitud total de los brotes, en la fecha del último registro antes del primer despunte (23/11/2021), los tratamientos bajo paneles solares simulados presentaron una longitud total mayor, con una diferencia aproximada de 21 cm respecto a los tratamientos sin paneles solares simulados.

Finalmente, en el crecimiento de brotes registrado en la última medición del 2/2/2022, antes del segundo despampanado, se observaron diferencias de aproximadamente 10 cm entre los tratamientos con y sin paneles solares simulados.

Tabla 7. % de brotación, número de brotes por planta, longitud total de brotes antes del primer despunte, el crecimiento de feminelas antes del segundo despunte y el crecimiento de feminelas de segundo orden después del segundo despunte.

Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.

Tratamiento	% de Brotación	Nº de brotes por planta	Longitud total de brotes antes del 1er despunte	Crecimiento de feminelas antes del 2do despunte	Crecimiento de feminelas de segundo orden después del 2do despunte
Orientación					
N-S	88,62 a	27,80 a	153,17 a	17,10 a	7,52 a
E-O	84,75 a	25,30 a	154,50 a	16,30 a	7,37 a
Panel					
Con Panel	82,76 b	24,73 b	164,50 a	21,25 a	7,93 a
Sin Panel	90,61 a	28,37 a	143,17 b	12,15 b	6,97 a
Interacción Orientación x Panel	Ns	ns	ns	ns	ns
ANOVA					
P _(Orientación)	0,256	0,138	0,844	0,739	0,856
P _(Panel)	0,044	0,048	0,017	0,007	0,272
P _(Interacción Orientación x Panel)	0,799	0,844	0,593	0,591	0,074

Nota. Medias dentro de una misma columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

3.1.9.1 Longitud total de brotes antes del primer despunte (23/11/2021)

La longitud total de brotes antes del primer despunte fue de 167 cm para el tratamiento T3 EO-CP, seguido del tratamiento T1 NS-CP con 162 cm de longitud, T2 NS-SP con 144 cm y finalmente T4 EO-SP con 142 cm. La interacción entre factores no fue significativa, pero si existió diferencia entre los tratamientos con paneles solares simulados y los tratamientos sin paneles solares simulados.

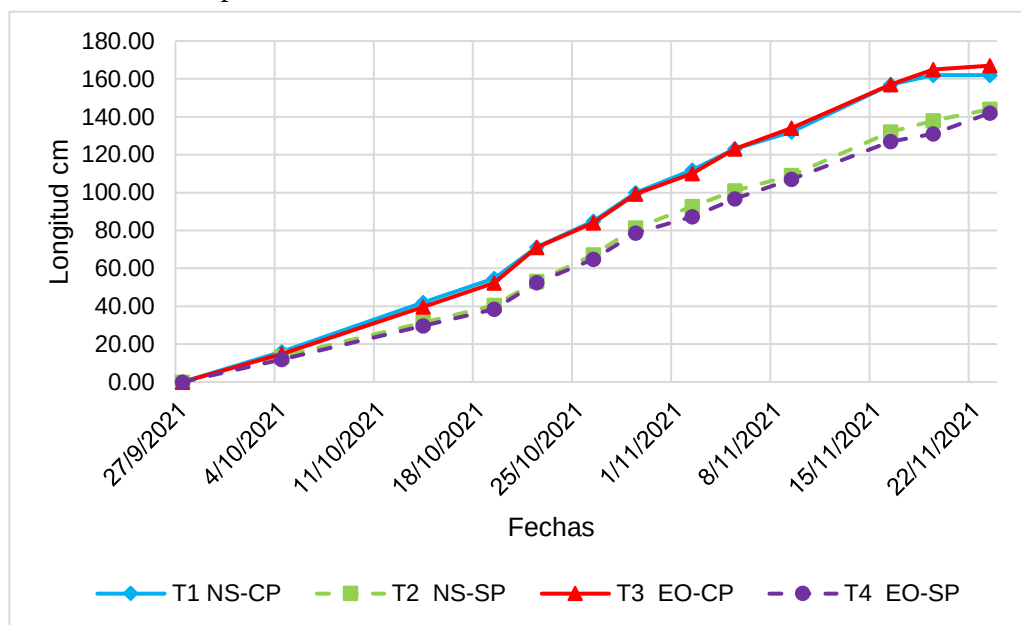


Figura 16. Longitud total de brotes (cm) antes del primer despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

3.1.9.2 Crecimiento de feminelas antes del segundo despunte

Para el crecimiento de feminelas antes del segundo despunte se observa que el tratamiento T1 NS-CP presentó un crecimiento de 22,3 cm, seguido del tratamiento T3 EO-CP con 20,2 cm, el tratamiento T4 EO-SP con 12,4 cm y finalmente el tratamiento T2 NS-SP con un crecimiento de las feminelas de 11,9 cm. La interacción entre factores no fue significativa. Los tratamientos con paneles solares simulados presentaron diferencias significativas a los tratamientos sin paneles solares simulados.

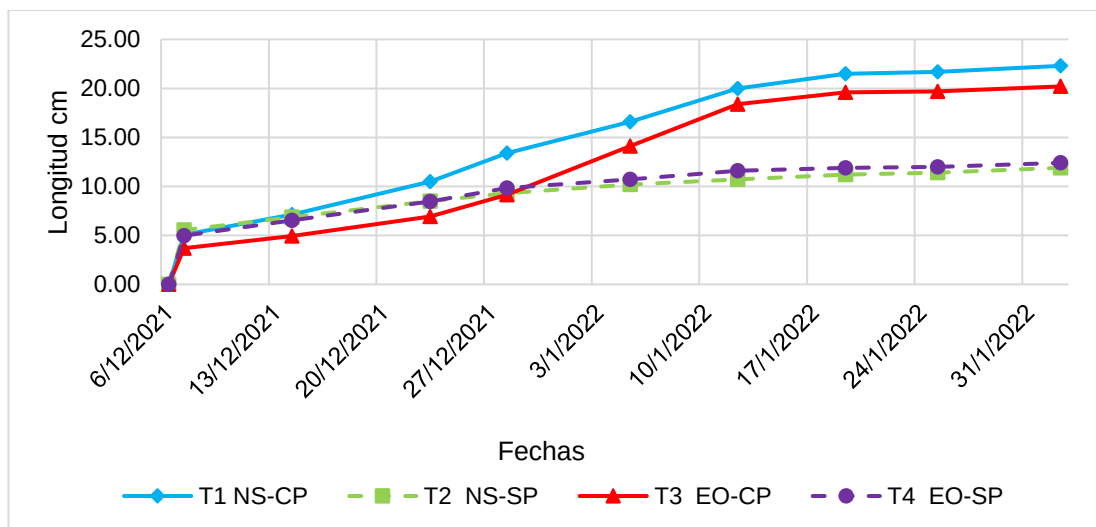


Figura 17. Longitud de feminelas (cm) antes del segundo despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

3.1.9.3 Crecimiento de feminelas de segundo orden después del 2do despunte

En cuanto al crecimiento de las feminelas de segundo orden después del segundo despunte, se aprecia que el tratamiento T1 NS-CP presentó un crecimiento de 8,87 cm, seguido del tratamiento T4 EO-SP con 7,75 cm, el tratamiento T3 EO-CP con 6,99 cm y finalmente el tratamiento T2 NS-SP con un crecimiento de las feminelas de segundo orden después del segundo despunte de 6,18 cm.

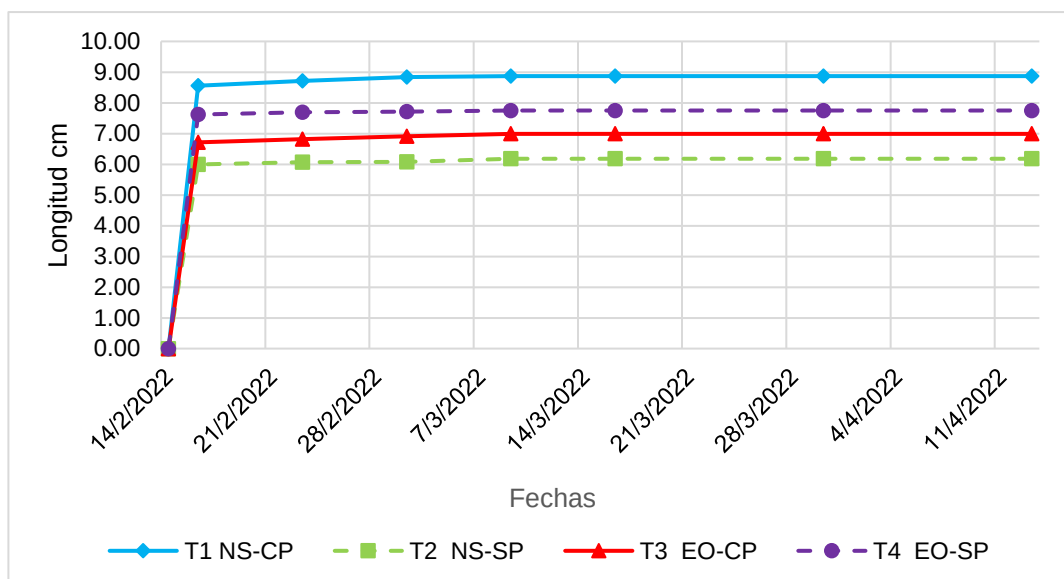


Figura 18. Longitud de feminelas de segundo orden (cm) después del 2do despunte y fechas de registro de los diferentes tratamientos en estudio. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado).

3.1.10 Rendimiento y componentes del rendimiento

No se encontró interacción para el rendimiento y sus componentes entre el factor orientación y el factor panel (Tabla 8). En el factor orientación solo se encontró diferencia en el número de racimos por planta, donde la orientación NS presentó mayor número de racimos que la EO.

Tabla 8. Rendimientos y sus componentes correspondientes en plantas de vid cv. Malbec clon 18. Ciclo 2021/22 Luján de Cuyo, Mendoza. Orientación de hilera (NS norte-sur, EO este-oeste). Panel solar simulado (CP con panel solar simulado, SP sin panel solar simulado). Interacción Orientación * Panel solares simulados.

Tratamiento	Rendimiento Kg por planta	Nº de racimos por planta	Nº de racimos por brote	Peso de racimo (g)	Nº de bayas por racimo	Peso de bayas (g)
Orientación						
N-S	7,10 a	54,67 a	2,2 a	147,93 a	86,67 a	1,76 a
E-O	6,58 a	48,67 b	1,92 a	150,59 a	85,98 a	1,79 a
Panel						
Con Panel	5,86 b	48,70 b	1,98 a	154,69 a	77,87 b	1,98 a
Sin Panel	7,83 a	54,63 a	1,96 a	143,83 a	94,78 a	1,57 b

Interacción Orientación x Panel	ns	Ns	ns	ns	ns	ns
ANOVA						
P _(Orientación)	0,256	0,037	0,368	0,856	0,915	0,817
P _(Panel)	0,003	0,038	0,879	0,467	0,035	0,014
P _(Interacción Orientación x Panel)	0,120	0,268	0,496	0,512	0,257	0,529

Nota. Medias dentro de una misma columna seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

En cuanto a la presencia o no de paneles, los tratamientos sin paneles solares simulados exhibieron un mayor rendimiento en kilogramos por planta, así como un mayor número de racimos por planta y una mayor cantidad de bayas por racimo. Sin embargo, mostraron un menor peso de bayas en comparación con los tratamientos bajo paneles solares simulados.

3.1.11 Equilibrio vegetativo/reproductivo

En el equilibrio vegetativo/reproductivo, determinado mediante el índice de Ravaz, no se encontró interacción entre los factores orientación y panel y no se encontraron diferencias entre orientaciones ni tampoco entre factor con y sin panel.

Tabla 9. Índice de Ravaz

Tratamiento	Índice de Ravaz
Orientación	
N-S	13,72 a
E-O	13,02 a
Panel	
Con Panel	12,28 a
Sin Panel	14,46 a
Interacción Orientación x Panel	ns
ANOVA	
P _(Orientación)	0,700
P _(Panel)	0,252

P (Interacción Orientación x Panel)	0,732
-------------------------------------	-------

Nota. Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según la prueba de Tukey. Los símbolos, * y 'ns' indican diferencias significativas a $p < 0,05$, y no significativas, respectivamente.

4 Capítulo IV

4.1 Discusión

Las mediciones periódicas del $\Psi_{f,md}$ nos permitieron determinar el momento de cada riego, como así también controlar el estado hídrico de las plantas en los valores preestablecidos al inicio del ensayo. El conocimiento actual sobre las respuestas fisiológicas de la vid al estrés hídrico abre la puerta a la utilización de indicadores fisiológicos como herramientas en programas de riego que buscan la eficiencia en el uso del agua (Medrano, 2007). Uno de los más utilizados es el Ψ_f , reconocido por su eficacia como indicador del estado hídrico de la planta (Berrios et al., 2022). En nuestro estudio, las plantas bajo paneles solares simulados mostraron un $\Psi_{f,md}$ durante el ciclo mayor (-1,04 MPa) en comparación con las plantas sin paneles solares simulados (-1,18 MPa), indicando un mejor estado hídrico general de las plantas independientemente de la orientación de las hileras de plantación. Estos resultados están en línea con hallazgos previos, donde se ha afirmado que las vides bajo sombra mantienen un mayor Ψ_f en comparación con aquellas expuestas directamente al sol (Neri et al., 2003). Además, nuestros resultados coinciden con investigaciones recientes que han encontrado valores más altos de Ψ_f en vides de Sauvignon Blanc cultivadas bajo tela media sombra (Cataldo et al., 2022). También se observaron que las vides de Merlot cultivadas bajo distintos sistemas de malla antigranizo presentaron un mejor estado hídrico en comparación con las plantas sin cobertura, en dicho estudio, los autores concluyeron que la reducción de la radiación directa y de la demanda evaporativa bajo cobertura permitió a las plantas conservar un mayor Ψ_f a lo largo del día, lo que refuerza la idea de que las estructuras de sombra parcial, como los sistemas agrovoltáicos o las mallas, pueden actuar como herramientas eficaces para mitigar el estrés hídrico en viticultura (Nahuel et al., 2024).

El manejo del riego se realizó desde la brotación, el 24 de septiembre del 2021. A partir de esa fecha, se redujo considerablemente el número de riegos aplicados a los diferentes tratamientos en estudio. Se aplicaron 209 mm de riego acumulado a los tratamientos bajo paneles solares simulados. En cambio, a los tratamientos sin paneles solares simulados se les aplicaron 311 mm de riego acumulado desde la brotación hasta la cosecha. Durante ese periodo, la precipitación efectiva fue de 157 mm. La reducción significativa en el uso

del agua en los tratamientos bajo paneles solares simulados (102 mm menos que los tratamientos sin paneles solares simulados) destaca la reducción de demanda de agua en los sistemas agrovoltaicos. Este hallazgo está en línea con estudios que han reportado una disminución en la ET bajo sistemas de sombra (Marrou et al., 2013; Hernandez et al., 2019). Además, los paneles fotovoltaicos no solo proporcionan sombra, sino que también reducen la temperatura del ambiente y del suelo que puede reducir la pérdida de agua por evaporación del suelo (Adeh et al., 2018). La disponibilidad de agua afecta en gran medida a la producción y la composición de la uva, por lo que la gestión eficiente del riego es de extrema importancia para la viticultura, en especial bajo el contexto actual de cambio climático (Mirás-Avalos & Araujo, 2021). Los hallazgos de nuestro estudio son consistentes con investigaciones previas que han demostrado los beneficios de la sombra en la mejora del estado hídrico de las plantas (Nieto et al., 2021; Crous et al., 2019; Zeng et al., 2018).

En nuestro estudio no se detectaron diferencias del estado hídrico entre las orientaciones de plantación (Norte-Sur y Este-Oeste), mientras que otros estudios (Hunter et al. 2016) han reportado menores niveles de déficit hídrico en hileras orientadas de este a oeste. Estas diferencias podrían ser el resultado de variaciones en las condiciones microclimáticas y las prácticas de manejo del viñedo en los diferentes estudios. En este sentido, la orientación de las hileras puede modificar significativamente la distribución diaria de la radiación solar sobre el dosel, lo que incide directamente en variables como la temperatura foliar, la evaporación del suelo y, en consecuencia, en el estado hídrico de la planta (Buesa et al., 2020).

Además, estudios realizados por Zorer et al. (2017) en vides Shiraz mostraron que las hileras orientadas de este a oeste mantuvieron valores más altos y estables de Ψ_f durante el día, en comparación con las orientaciones norte-sur o diagonales. Esto sugiere que esta disposición podría reducir el estrés hídrico en condiciones de alta radiación. A diferencia de estos resultados, en nuestro estudio no se observaron tales diferencias, posiblemente debido a la influencia de otros factores como el uso de riego suplementario o condiciones climáticas específicas que atenuaron el efecto de la orientación.

En relación con la humedad del suelo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las tres profundidades estudiadas (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Este es un aspecto importante ya que el agua debajo de los paneles estuvo disponible durante periodos más prolongados con respecto a las condiciones de los tratamientos sin paneles solares simulados, ahorrando así un recurso importante y escaso. El efecto de la sombra de los paneles fotovoltaicos sobre la temperatura ambiente y del suelo generan una menor demanda atmosférica de agua y hacen que el agua en el suelo se conserve por más tiempo (Hernández et al., 2020). De hecho, estudios de campo en huertos de manzanos con sistemas agrovoltaicos han reportado reducciones en la cantidad de riego requerida entre un 6 % y un 31 %, dependiendo de la temporada (Juillion et al., 2022). En nuestro estudio, aplicamos 13 riegos a los tratamientos sin paneles solares desde el 18/11/21 hasta el 18/04/2022. En contraste, los tratamientos con paneles solares recibieron riego solo en 2 ocasiones, lo que representa una disminución del 83% en la cantidad de riego aplicado. Estudios como el de Juillion et al. (2022) respaldan estos hallazgos, al demostrar que un sistema agrovoltaico implementado en un huerto de manzanos proporciona un entorno menos estresante para los árboles y reduce los requisitos de riego, manteniendo un estado hídrico más favorable para su crecimiento.

En cuanto a la longitud total de los brotes antes del primer despunte los tratamientos bajo paneles solares simulados CP presentaron una longitud de 164,5 cm y los tratamientos sin paneles solares simulados SP una longitud de 143,17 cm, lo que indica un mayor desarrollo en las plantas bajo paneles solares simulados con una diferencia de 21,33 cm entre los tratamientos. Además, durante el crecimiento de feminelas antes del segundo despunte, se observó que las plantas bajo paneles solares simulados mostraron un mayor desarrollo en comparación con las plantas sin paneles solares. En un estudio realizado por Greer y Weedon (2012), se observó que los brotes bajo condiciones de sombra presentaron un mayor crecimiento.

Para rendimiento por planta, en nuestro estudio la interacción de factores orientación * panel no fue significativa. Tampoco encontramos diferencias de rendimientos en el factor orientación. Sin embargo, sí se evidenciaron diferencias de rendimientos en el factor panel. Los tratamientos sin paneles solares simulados produjeron un rendimiento

promedio de 7,83 kg por planta, mientras que los tratamientos bajo paneles solares simularon un rendimiento promedio de 5,86 kg por planta. Esto representa una disminución del 25% en el rendimiento bajo los paneles solares. Estas diferencias en el rendimiento pueden explicarse desde una perspectiva fisiológica, con el Ψ_h y la distribución de los fotoasimilados. El Ψ_h afecta directamente la turgencia celular, condición necesaria para la expansión celular y el crecimiento vegetal (Taiz et al., 2015). En condiciones de pleno campo, donde la radiación solar es mayor, las plantas suelen mantener un equilibrio óptimo entre un adecuado Ψ_h y una mayor producción de fotoasimilados, lo que favorece tanto el crecimiento vegetativo como la asignación de recursos hacia órganos reproductivos, resultando en rendimientos superiores (Marrou et al., 2013).

La disminución del rendimiento observada bajo los paneles solares simulados coincide con investigaciones previas que reportan una reducción en la producción asociada a la menor disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (Hernández et al., 2019). La sombra causada por los paneles reduce la energía luminosa disponible para la fotosíntesis, lo que limita la producción de fotoasimilados y afecta la asignación de carbono a los órganos reproductivos, reduciendo así el rendimiento (Zhu et al., 2018). A pesar de que la sombra puede mejorar el estado hídrico de la planta al reducir la evaporación y el estrés hídrico (Dupraz et al., 2011), este beneficio no siempre compensa la disminución en la captación lumínica, especialmente en cultivos que requieren altos niveles de irradiancia para un óptimo desarrollo y producción. Por lo tanto, el balance entre la conservación del agua y la disponibilidad de luz es clave para maximizar el rendimiento en sistemas agrovoltaicos.

Un alto Ψ_h favorece un crecimiento vegetativo más vigoroso y una mayor área foliar activa, ya que el agua disponible es fundamental para mantener la turgencia celular y permitir la expansión foliar (Hsiao, 1973). Este aspecto adquiere especial relevancia bajo condiciones de sombra parcial, como las generadas por los paneles solares, donde las hojas tienden a expandirse para captar más luz (Marrou & Sinclair, 2013). Sin embargo, a pesar de este aumento en la masa foliar, la menor disponibilidad de luz reduce la capacidad fotosintética total de la planta, limitando la producción de fotoasimilados necesarios para

el desarrollo de frutos y, por ende, afectando negativamente el rendimiento (Smith & Johnson, 2017). Además, la interacción entre luz y Ψ_h ejerce un efecto sinérgico sobre el equilibrio entre biomasa vegetativa y reproductiva. Bajo condiciones de alta luz y buen suministro de agua, la planta puede asignar recursos de forma equilibrada entre crecimiento y reproducción. En cambio, en condiciones de sombra, aunque el estado hídrico pueda ser favorable, la reducción en la irradiancia limita la fotosíntesis, provocando una menor asignación de carbono a órganos reproductivos y, por lo tanto, una disminución en el rendimiento productivo (Chaves et al., 2009). Por esta razón, las plantas bajo sombra suelen producir menos que aquellas expuestas a pleno campo, a pesar del desarrollo foliar más abundante.

Aunque el estudio no incluye mediciones directas de intercambio gaseoso, es útil considerar el comportamiento anisohídrico como marco interpretativo. Las especies anisohídricas mantienen los estomas abiertos más tiempo durante el estrés hídrico, permitiendo sostener la fotosíntesis y la producción de fotoasimilados, lo que puede favorecer el rendimiento bajo condiciones de sombra y estrés moderado (Martínez et al., 2017). Sin embargo, a pesar de esta capacidad, en general las plantas cultivadas a pleno sol suelen producir mayores rendimientos que aquellas bajo sombra, debido a la mayor disponibilidad de luz que maximiza la fotosíntesis y la asignación de recursos hacia órganos reproductivos.

En un estudio realizado por Elamri et al. (2018), señala que el uso de agua para riego se puede reducir en un 20 % con una reducción del 10 % en el rendimiento de la planta con una pequeña prolongación en el tiempo de cosecha. Este hallazgo se reflejó en nuestra investigación donde las parcelas sin paneles solares simulados se cosecharon primero, el 14/03/2022, 172 días después de la brotación, mientras que las parcelas bajo paneles solares el 18/03/2022, 177 días después de la brotación. Esta diferencia en el ciclo de cosecha sugiere una posible extensión causada por las condiciones microclimáticas alteradas bajo los paneles solares fotovoltaicos. Los efectos de la sombra generada por los paneles fotovoltaicos pueden variar significativamente, con repercusiones negativas en especies intolerantes a la sombra y ningún efecto o incluso efectos positivos en las especies tolerantes a la sombra (Trommsdorff et al., 2021). Por ejemplo, se ha observado

una reducción del (11–20 %) en el rendimiento de las uvas Semillón para vides en condiciones de baja intensidad lumínica (30%) en viñedos de Australia (Greer & Weedon, 2012). Sin embargo, en un ambiente árido, el rendimiento de los tomates casi se duplicó cuando se cultivaron bajo paneles fotovoltaicos en el campo con respecto a los tomates cultivados a pleno sol, donde el efecto combinado de la sombra, la mejora del estado hídrico de las plantas y la creación de un microclima más favorable contribuyen al aumento del rendimiento de los tomates cultivados bajo paneles fotovoltaicos en comparación con aquellos cultivados a pleno sol (Barron-Gafford et al., 2019). La sombra proporcionada por los paneles fotovoltaicos podría representar una aplicación beneficiosa para contrarrestar temperaturas excesivas y reducir la cantidad de luz incidente en los cultivos reduciendo así la pérdida de agua, otro recurso muy importante y limitante en los nuevos escenarios climáticos (Ferrara et al., 2023).

No se encontraron diferencias en el peso promedio del racimo, pero se pudo evidenciar que los tratamientos sin paneles solares simulados tuvieron un mayor número total de bayas por racimo, mientras que los racimos bajo paneles solares simulados tuvieron un mayor peso individual de las bayas (1,98 g) comparado con los racimos expuestos al sol (1,57 g). Los resultados relativos al peso y número de bayas por racimo indican una compensación entre la cantidad y el tamaño de las bayas bajo diferentes condiciones de luz. Este patrón ha sido observado en otros estudios, como el de Ferrara et al. (2023). La menor cantidad de bayas bajo sombra puede deberse a una menor inducción floral o diferenciación de frutos, pero la reducción del estrés hídrico y térmico durante el cuajado favorece una mayor calidad y tamaño de las bayas que se desarrollan (Palliotti et al., 2014). Además, la menor irradiancia disminuye la competencia por fotoasimilados, lo que permite que las bayas bajo sombra crezcan más debido a una asignación más eficiente de recursos (Smart et al., 1988). Estudios llevados a cabo en distintas condiciones ecológicas de crecimiento, sobre un gran número de variedades y durante un largo periodo de tiempo han demostrado que el número de racimos por planta es el factor que explica alrededor del 60 a 70% de la variación anual del rendimiento en vid (Clingeleffer et al., 2001). El 30 a 40% restante de la variación está dada por cambios en la cantidad de bayas por racimo y/o el tamaño de las bayas (Clingeleffer et al., 2001). La cantidad de racimos por

brote/yema, conocida como índice de fertilidad, se determina durante los procesos fisiológicos de inducción floral y diferenciación de inflorescencias.

4.2 Conclusiones

La investigación sobre el manejo del riego basado en el Ψ_f en sistemas agrovoltaicos es aún incipiente, especialmente a nivel local. En la temporada 2021/2022, nuestro estudio reveló que las plantas ubicadas bajo la sombra de los paneles solares simulados mostraron valores de Ψ_f mayores a lo largo de toda la temporada, en comparación con las plantas sin paneles solares simulados.

En cuanto al Ψ_f , los resultados indicaron que la interacción entre los factores estudiados no fue significativa. Sin embargo, se observaron diferencias importantes en el factor panel. Los tratamientos T1 (NS-CP) y T3 (EO-CP), ambos bajo paneles solares simulados, mantuvieron valores de Ψ_h más altos durante todo el ciclo, con un promedio de -1,04 MPa. En contraste, los tratamientos sin paneles solares simulados, T2 (NS-SP) y T4 (EO-SP), mostraron un valor promedio de Ψ_h de -1,18 MPa, lo que indica que las plantas experimentaron un mayor estrés hídrico a lo largo del ciclo.

En cuanto al riego, fue manejado en base al Ψ_f . Las diferencias en la cantidad de agua aplicada se debieron al efecto de la sombra, que redujo la demanda hídrica de las plantas. Como resultado, los tratamientos sin paneles solares recibieron 13 riegos entre el 18/10/2021 y el 18/04/2022, acumulando 133 mm de agua. En cambio, los tratamientos con paneles solares solo fueron regados en 2 ocasiones, con un total de 22 mm, lo que representa una disminución del 83% en el riego. Este notable ahorro en el volumen de agua utilizado destaca la reducción de consumo de agua del sistema agrovoltaico, logrando un ahorro de 111 mm, al utilizar un indicador fisiológico de la planta como criterio para la decisión de riego.

La humedad del suelo se mantuvo con valores similares y sin diferencias significativas en las tres profundidades estudiadas (0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm) durante todo el período de observación.

En relación con el crecimiento vegetativo, no se observaron diferencias significativas asociadas a las orientaciones evaluadas en el estudio. Tampoco se detectó una interacción significativa entre la orientación y los paneles solares simulados.

No obstante, se identificaron variaciones claras atribuibles al factor del panel solar simulado, el cual influyó de manera notable en el desarrollo de las plantas. Estos resultados indican que, si bien la orientación no tuvo un impacto por sí sola, la presencia del panel solar simulado, se comportó como un factor determinante en el comportamiento vegetativo.

En cuanto a los rendimientos los tratamientos con paneles solares simulados mostraron un 25% menos de rendimiento en comparación con los tratamientos sin paneles solares simulados. A pesar de esta disminución, los rendimientos obtenidos bajo los paneles se mantuvieron dentro del límite establecido por la Denominación de Origen Controlada (DOC) Luján de Cuyo, que permite un máximo de 100 qq/ha, lo que sugiere que esta opción podría ser una alternativa efectiva para la producción vitícola de alta calidad, especialmente en el contexto del aumento de temperaturas y el cambio climático. Sin embargo, es importante destacar que este estudio se realizó bajo condiciones específicas y con un número limitado de tratamientos, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otras condiciones climáticas, tipos de suelo o variedades de vid. Asimismo, sería esencial llevar a cabo un análisis financiero que evalúe si la disminución en los rendimientos bajo los paneles solares es compensada por la generación de energía eléctrica, garantizando la rentabilidad del viñedo. Además, resultaría conveniente complementar este estudio con un análisis económico más amplio, que considere no solo los costos y beneficios directos, sino también aspectos como el ahorro energético a largo plazo, el impacto en el valor del terreno y la imagen de sostenibilidad del viñedo.

Estos hallazgos sugieren la viabilidad y los beneficios potenciales de los sistemas agrovoltaicos, al ofrecer una solución sostenible que optimiza el uso del agua y, al mismo tiempo, mantiene el vigor y la productividad de las plantas.

Bibliografía

Aden, E., Selker, J., & Higgins, C. (2018). Notable influencia agrovoltaica en el suelo, humedad, micrometeorología y eficiencia en el uso del agua. *PLoS One*, 13:1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>

Allen, R., Pereira, L., & Raes, D. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 103-134.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N°56. Rome, Italy.

Amaducci, Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agri voltaic systems to optimize land use for electric energy production. *Applied Energy*, 245-261.

Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2000). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España.

Baeza, P., Sánchez-De-Miguel, P., & Lissarrague, J. (2010). Radiation Balance in Vinayards. Methodologies and Result in Grapevine. Dordrecht, Springer Netherlands, 21-29.

Buesa, I., Mirás-Avalos, J. M., & Intrigliolo, D. S. (2020). Row orientation effects on potted-vines performance and water-use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 294, 108148. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108148>

Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., & Thompson, M. (2019). Agro voltaica en tierras áridas: la cubicación tiene beneficios de alimentos, agua y energía renovable. *Agrivoltaics impacts manuscript*, 1-35.

Barron-Gafforf, G., Pavao-Zuckerman, M., Menor, R., Sutter, L., Barnett-Moreno, I., Blackett, D., & Macknick, J. (2019). Los agros voltaicos brindan beneficios mutuos en el nexo entre alimentos, energía y agua en las tierras secas. *Nat. Sostener*, 2, 848-855.

Berrios, P., Temnani, A., & Pérez-Pastor, A. (2022). Potencial hídrico foliar y de tallo: indicadores del estado hídrico de la planta. *Drip2Grow*. <https://drip2grow.com/blog/indicadores-del-estado-hidrico-del-suelo-y-la-planta/>

Buesa, D., Pérez, A., Yeves, F., Sanz, D., & Intrigliolo, S. (2018). La orientación de las filas de los viñedos en direcciones este-oeste: una posible estrategia para optimizar el uso del agua en escenarios de cambio climático. IV. *Revista Local Interior Valencia*.

Busso, C. A. (2008). Uso de la cámara de presión y los psicrómetros a termocupla en la determinación de las relaciones hídricas en tejidos vegetales. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 77, 327–350.

Calvet, k., Pearce, J., & Mabee, W. (2013). Toward renewable energy geo-information infrastructures: applications of GIScience and remote sensing that can build institutional capacity. *Renewable Sustainable Energy*, 416-429.

Carboneau, A. (1998). Irrigation, vignoble et produit de lavigne. *Traité d'Irrigation*. J.-R. Tiercelin, coord. Paris, Lavoisier Tec & Doc. Chapitre IV:Aspects Qualitatifs, 257-298.

Cataldo, E., Fuceli, M., & Mattii, G. (2022). Effects of Kaolin and Shading Net on Ecophysiology and Berry Composition of Sauvignon Blanc Grapevines. *Agriculture*, 12(4), 491. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040491>

Crous, K. Y., & Ellsworth, D. S. (2019). Shade moderates drought impacts on the leaf gas exchange of Eucalyptus trees. *Tree Physiology*, 39(7), 1030-1040. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz034>

Chaves, J. Flexas, C. Pinheiro. (2009). Fotosíntesis bajo estrés por sequía y salinidad: mecanismos de regulación desde la planta completa hasta la célula, *Anales de Botánica* , Volumen 103, Número 4, páginas 551–560, <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>

Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661–676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>

Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., & Gaudillères, J. (2001). Stem Water Potential is a Sensitive Indicator of Grapevine Water Status. *Annals of Botany*, 87:477-483.

Clingeleffer, P. R., Martin, S. R., Dunn, G. M., & Krstic, M. P. (2001). Crop development, crop estimation and crop control to secure quality and production of major wine grape varieties: a national approach. Final report for the Grape and Wine Research & Development Corporation. Edited by Steve Martin and Greg Dunn.

Coombe, B. G. (1995). "Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages." *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 104-110.

Damásio, M., Barbosa, M., Deus, J., Fernandes, E., Leitão, A., Albino, L., Fonseca, F., Silvestre, J. (2023). Can Grapevine Leaf Water Potential Be Modelled from Physiological and Meteorological Variables? A Machine Learning Approach. *Plants* 2023, 12, 4142. <https://doi.org/10.3390/plants12244142>

Deloire, A. (2006). Vine and Water. *Revista Enología*, N°5, 36-42.

Deloire, A., Pellegrino, A., & Rogiers, S. (2020). A few words about vine leaf water potential. Montpellier University, L'Institut Agro (SupAgro-IHEV), France. *IVES Technical Reviews. Vine and Wine*.

Dupraz, C., Talbot, G., Marrou, H., Wery, J., Roux, S., Liagre, F., & Clichy, D. (2011). To mix or not to mix: Evidences of unexpected high productivity of new complex agrovoltaic and agroforestry systems. In *Proceedings of the 5th World Congress on Conservation Agriculture: Resilient Food Systems for a Changing World*. Brisbane, Australia.

Dupraz, C., & Marrou, H. (2019). Designing agrovoltaic systems: A review of agronomic and environmental impacts. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107739. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107739>

Elamir, E. (2018). Leaf water potential as an indicator of plant water status: A review and recent advances. *International Journal of Botany*, 45(2), 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.bot.2018.02.001>

FAO. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations *FAO strategy on climate change 2022–2031*. FA <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c//1618544/>

FAO. (2013). Agriculture and climate change: New technologies for climate change mitigation and adaptation in agriculture. Proceedings of the third regional seminar on agriculture and climate change, held in Santiago, 27-28 September 2012.

Fernández. (2021). Agrovoltaics or agrivoltaics: Application of solar energy in agriculture. Greenteach.

Ferrara, J., Boselli, M., Palasciono, M., & Mazzeo, A. (2023). Effect of shading provided by photovoltaic panels installed over vines on the yield of cv. Corvina (*Vitis vinifera* L.). *Horticultural Science*, 308, 1-13.

Flexas, J., Diaz-Espejo, A., Gago, J., Gallé, A., Galmés, J., Gulías, J., ... & Medrano, H. (2014). Photosynthetic limitations in Mediterranean plants: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 12-23.

Fraunhofer. (2021). Agri-Photovoltaic: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. Retrieved from ISE: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/fotovoltaica-integrada/agrivoltaica.html>.

Gambetta, G. A., Manuck, C. M., Drucker, S. T., Shaghasi, T., Fort, K., & Matthews, M. A. (2020). The relationship between xylem anatomy, root hydraulics, and drought resistance in grapevine rootstocks. *Plant Physiology and Biochemistry*, 150, 3-16.

García, A., Cun, R., & Montero, L. (2010). Effect of time of day on leaf water potential of sorghum and its relationship with soil moisture. *Rev Cie Téc Agr*, 19(3), San José de las Lajas.

García, O., López, A., Orgaz, F., Testi, L., & Villalobos, F. (2020). The pitfalls of water potential for irrigation scheduling. *Agric. Water Manag*, 243.

Gatti, L., Basso, L., Miller, J., Gloor, M., Domingues, L., & Cassol, H. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>, 388-393.

Gero, A., & Rodríguez, A. (2015). Metodología para la evaluación del estado hídrico de los cultivos. Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de <https://geroca.ias.csic.es/metodologia.html>

Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). Agrivoltaic systems: Dual land use for agriculture and solar energy production. *Renovablespedia*.

Graff, P. (2012). Water Potential. Madrid, España: Editorial Ciencias Naturales.

Greer, D., & Weedon, M. (2012). Interactions between light and growing season temperatures, growth and development, and gas exchange of Semillon vines (*Vitis vinifera* L.) grown in an irrigated vineyard. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.02.010>

Hassanpour, A. E., Selker, J., & Higgins, C. (2018). Notable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology, and water use efficiency. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>

Hernandez, R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O'Leary, K., & Diédhiou, I. (2019). Techno-ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nature Sustainability*, 2, 560-568.

Hernández, R., Tanner, K., Haji, S., Parker, I., Pavlik, B., & Moore-O'Leary, K. (2020). Simulated photovoltaic solar panels alter the seed bank survival of two species. *Plants-Basel*, 9(9), 1125. <https://doi.org/10.3390/plants9091125>

Hsiao, T. C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24, 519–570. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>

Hunter, J., Volschenk, C., & Zorer, R. (2016). Vineyard row orientation of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz/101-14 Mgt: Climatic profiles and physiological states of the vine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 104-119.

Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2010). Response of the cv. ‘Tempranillo’ grapevine to irrigation timing and amount: Water relations, vine growth, berry yield, and wine composition. *Irrigation Science*, 28(2), 113-125.

Jiullion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2022). Shade apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics, and yield determinants. *Scientia Horticulturae*, 306, 111434. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111434>

Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>

Jones, H. G. (2007). Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 119-130. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl118>

Jung, D., Salmom, A., & Gese, P. (2021). Agrivoltaics for farmers with shadow and electricity demand: results of a prefeasibility study under net billing in central Chile. *AIP Conference Proceedings*, 2361.

Lovisolo, C. (2008). An abscisic acid-related transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. *New Phytologist*, 180: 642-651.

Lovisolo, C., Hartung, W., & Schubert, A. (2002). Whole-plant hydraulic conductance and root-to-shoot abscisic acid flux are independently affected by water stress in grapevines. *Functional Plant Biology*, 29, 1349-1356.

Lovisolo, C., Schubert, A., & Perrone, I. (2002). Water stress tolerance and hydraulic conductance in *Vitis vinifera* L. cv. Sangiovese. *Functional Plant Biology*, 29(5), 665–671. <https://doi.org/10.1071/PP01193>

Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Werry, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agric For Meteorol*, 177:117-32.

Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., & Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuce grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66.

Marrou, H., y Sinclair, TR (2013). Expansión foliar de soja cultivada en campo bajo sombra: Adaptación del cultivo y potencial de mejora. *Revista Europea de Agronomía* , 51 , 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.06.003>

Martínez, A., Hera, L., & Gutiérrez, L. (2000). Considerations on vineyard irrigation. Retrieved January 4, 2023, from www.terralia.com/revista15/pagina22.htm.

Martínez-Vilalta, J., Poyatos, R., Aguadé, D., Retana, J., & Mencuccini, M. (2014). A new look at water transport regulation in plants. *New Phytologist*, 204(1), 105–115. <https://doi.org/10.1111/nph.12912>

Martínez-Vilalta, J., y García-Forner, N. (2017). Regulación del potencial hídrico, comportamiento estomático y transporte hidráulico en condiciones de sequía: Deconstrucción del concepto iso/anisódico. *Plant, Cell & Environment*, 40 (6), 962–976. <https://doi.org/10.1111/pce.12846>

Medrano, H. (2007). Physiological indicators for controlling water status in grapevines. *Plant Biology*, 30, 607.

Medrano, H. (2007). Current knowledge on physiological responses of grapevines to water stress opens the door to the use of physiological indicators as tools in irrigation programs seeking water use efficiency. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3), 693-700. doi:10.1590/S0100-29452007000300036

Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J. M., Pou, A., Fuentes, S., ... & Bota, J. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*, 3(3), 220-228.

Mirás-Avalos, J., & Araujo, E. (2021). Optimization of vineyard water management: Challenges, strategies, and perspectives. *Water* 13(6), 746.

Molina, J. M., Ruiz-Canales, A., & Gil-Rodríguez, M. (2020). Precision agriculture and remote sensing in viticulture: Applications and limitations. *Agronomy*, 10(2), 273. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020273>

Moreno, L. (2009). Plant response to water deficit stress: A review. *Agronomía Colombiana*, 27, 179-191.

Munitz, S., Shani, U., & Schwartz, A. (2017). Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(2), 166–174. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12241>

Nahuel, C. G., Castro, P., Nahuel, E. D., Carbajal Ramos, I., & Pérez Peña, J. E. (2024, diciembre). Comportamiento de *Vitis vinifera* L. cv. Merlot bajo tres sistemas de instalación de malla antigranizo. *Revista de investigación de la Facultad de Ciencias Aplicadas (RecICAp)*, 4(2), 24-36.

Nagashima, A. (2005). Sunlight Power Generation System. Japan Patent, (2005-277038).

Neri, D., Castagnoli, M., Poni, S., & Corelli, L. (2003). Diversified drought response of sun-exposed and shaded leaves in potted grapevines, peaches, and pears. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, 11, 5-15.

Nieto, O. M., Campos, P., & González, P. M. (2021). Agroforestry systems improve soil moisture and nutrient availability in Mediterranean environments. *Agricultural Water Management*, 243, 106433.

Nilsen, E., & Orcutt, D. (1996). Physiology of plants under stress: Abiotic factors. John Wiley and Sons, Nueva York, NY.

Ojeda, H. (2007). Qualitative precision irrigation in grapevines. Summary of the presentation at Enoforum 2007, March 13-15, Piacenza, Italy.

Ojeda, H., & Deloire, A. (2005). Influence of vineyard water status on wine type. Montpellier, France.

Ojeda, H., Deloire, A., Wang, Z., & Carbonneau, A. (2004). Determination and control of water status in the grapevine. Morphological and physiological effects of water restriction on vines. *Viticulture and Enology Professional*, 90, 27-43.

ONU. (2016). Interrelations between Water and Sanitation in the 2030 Agenda for Sustainable Development. *UN-Water Report*.

ONU. (2023). Water, an ally against climate change if we know how to appreciate it. *United Nations News, Global Human Historical Perspective*.

Palliotti, A., Tombesi, S., & Frioni, T. (2014). Effects of shading on grapevine physiology and berry composition. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 5015–5025. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru262>

Pellegrino, A., Lebon, E., Simonneau, T., & Wery, J. (2005). Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research.*, 11, 306-315.

Pereyra Cardozo, M., & Quiriban, A. (2014). Proteins in water stress tolerance in plants. *Portal de revistas de la UNLPam*, 56-67.

Pérez, M. (2002). Planting density and irrigation: Ecophysiological, agronomic aspects, and quality of the cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape. Doctoral Thesis, Department of Plant Production: Horticulture. Universidad Politécnica de Madrid, 287.

Poni, S., Intrieri, C., & Gatti, M. (2016). Influence of row orientation and training system on vine performance and fruit composition in a cool climate viticulture. *Vitis*, 55(4), 181–186.

Prichard, T., Hanson, B., Schwankl, L., Verdegel, P., & Smith, R. (2003). Irrigation of Quality Winegrapes Using Micro-Irrigation Techniques. University of California Cooperative Extension, Department of Land, Air and Water Resources., 83.

- Romero, P., Martínez, J. A., & García, J. M. (2010).** Effects of regulated deficit irrigation during the pre-veraison period on gas exchange, leaf development and water relations of Tempranillo grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1), 94–103. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00093.x>
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., del Amor, F. M., Valdés, E., & Fernández, J. I. (2018).** Controlled deficit irrigation based on optimal water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agricultural Water Management*, 202, 285-296.
- Rodríguez-Robles, J. A., Arredondo, J. T., & Mendez-Alonzo, R. (2015).** Environmental filtering and evolutionary history explain community assembly in tropical dry forest tree species. *New Phytologist*, 205(1), 109–120. <https://doi.org/10.1111/nph.13094>
- Rodríguez-Perez, J., Riaño, D., Carlisle, E., Ustin, S., & Smart, D. (2007).** Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(3), 302-317.
- Sade N., Gebremedhin A., Moshelion M. 2012.** Risk taking plants. Anisohydric behaviour as a stress resistance trait. *Plant signaling and behavior*. 7:767-770
- Sáez, S. (2020).** The areas where grapevines are grown will be affected by global warming. However, adaptation is possible by switching to new grape varieties. *CLIMATICA*.
- Sanchez, D., & Aguirreola, J. (2000).** Water transport and water balance in the plant. *Fundamentals of Plant Physiology*. Universidad de Barcelona, España, 45-64.
- Santesteban, L. G., Miranda, C., & Royo, J. B. (2011).** Water relations of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo in response to soil water availability. *Irrigation Science*, 29(6), 473–484. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0265-1>
- Scholander, P. (1965).** Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339-346.
- Schultz, H. (2003).** Differences in hydraulic architecture explain the nearly isohydric and anisohydric behavior of two cultivars of *Vitis vinifera* L. grown in the field during drought. *Plant, Cell & Environment*, 26(9), 1393–1405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x>
- Schultz, H. R. (2016).** Global climate change, sustainability, and some challenges for grape and wine production. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 181-200.
- Segui, P. (2019).** Agrivoltaics: Combining solar panels with agriculture. <https://farmlandgrab.org/29249>.

- Sekiyama, T., & Nagashima. (2019).** A solar exchange for food and clean energy production: Performance of agrovoltaic systems for maize, a typical shade intolerant crop, environments. *Environments*, 6(6), 65. <https://www.mdpi.com/2076-3298/6/6/65/htm>.
- Sellés, G., Ferreira, R., & Maldonado, P. (2002).** Pressure chamber: An instrument for irrigation control through measurements of plant water status. *Aconex*, N°76, 18-22.
- Smart, R., & Robinson, M. (1991).** *Sunlight into wine: A handbook for winegrape canopy management*. Winetitles.
- Smart, R. E., Robinson, M., & Thomas, M. R. (1988).** Canopy microclimate and vine development. In *Viticulture Science* (pp. 89-103). Academic Press.
- Smith, R. A., & Johnson, L. M. (2017).** Effects of reduced irradiance on photosynthesis and fruit yield in horticultural crops. *Journal of Plant Physiology*, 214, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.06.004>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (1998).** *Plant physiology* (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002).** *Plant physiology* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010).** *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, IM y Murphy, A. (2015).** *Fisiología vegetal* (6ª ed.). Asociados Sinauer.
- Tramontini, S., Döring, J., Vitali, M., Ferrandino, A., Stoll, M., & Lovisolo, C. (2014).** Soil water-holding capacity mediates hydraulic and hormonal signals of near-isohydric and near-anisohydric *Vitis* cultivars in potted grapevines. *Functional Plant Biology*, 41(11), 1119–1128. <https://doi.org/10.1071/FP13264>
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., & Bopp, G. (2021).** Combining food and energy production: Designing an agrivoltaic system applied in agricultural and horticultural farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694>
- Tyree, M. T., & Zimmermann, M. H. (2002).** *Xylem structure and the ascent of sap* (2nd ed.). Springer
- Vila, H. (2012).** Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés y resistencia al déficit hídrico en vid. En Tesis presentada para el grado de Doctor en Biología con mención en Fisiología vegetal. Posgrado en Biología Probiol, Universidad Nacional de Cuyo Mendoza-Argentina.

Williams, L., & Ayars, J. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agric For Meteorol*, 132:201-211.

Williams, L. E., & Matthews, M. A. (1990). Grapevine. In B. A. Stewart & D. R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of agricultural crops* (pp. 1019–1055). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr30.c34>

Zarco, J. (2023). Photovoltaic Cherry Tomatoes and Jalapeño Peppers! *PV Magazine "Revista Agricultura Mexicana" (Digital)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobierno Federal.

Zeng, Y., & Wang, L. (2018). Canopy interception for sustainable agriculture: Influences on soil water content and implications for crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 262, 149-159.

Zorer, R., Hunter, J. J., Volschenk, C. G., & Deloire, A. (2017). Leaf water potential in Shiraz vines as affected by row orientation and trellis design. *OENO One*, 51(1), 47–56. <https://doi.org/10.20870/oenone.2017.51.1.1538>

Zhu, X., Li, Y., & Wang, L. (2018). Effects of shading on photosynthetic characteristics and fruit quality of tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 232, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.015>

ANEXOS

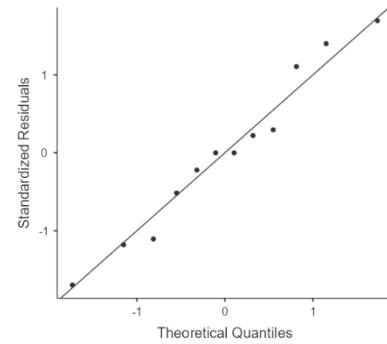
Anexo 1. Análisis de supuestos (Potencial hídrico)

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.965	0.852
Kolmogorov-Smirnov	0.139	0.950
Anderson-Darling	0.214	0.803

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 2. Análisis de supuestos (primera dinámica diarias de potencial hídrico 14-02-2022)

1ra dinámica diaria de potencial hídrico (05:30)

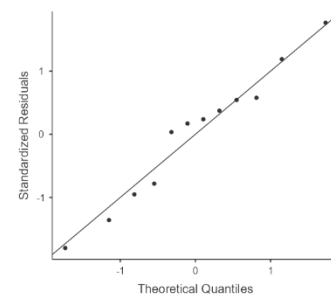
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	6.50e-4	2	3.25e-4	0.2702	0.772
Orientación	7.50e-5	1	7.50e-5	0.0624	0.811
Panel	0.00141	1	0.00141	1.1709	0.321
Orientacion * Panel	6.75e-4	1	6.75e-4	0.5612	0.482
Error	0.00722	6	0.00120		

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.965	0.856
Kolmogorov-Smirnov	0.180	0.772
Anderson-Darling	0.270	0.608

Note. Additional results provided by *moretests*



1ra dinámica diaria de potencial hídrico (08:00)

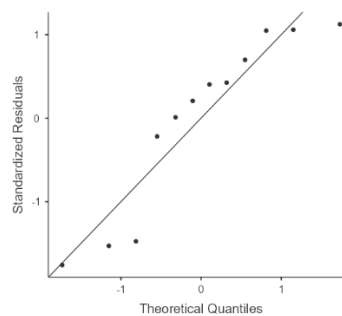
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.19832	2	0.09916	8.505	0.018
Orientación	0.03521	1	0.03521	3.020	0.133
Panel	0.02521	1	0.02521	2.162	0.192
Orientación * Panel	0.00141	1	0.00141	0.121	0.740
Error	0.06995	6	0.01166		

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.864	0.054
Kolmogorov-Smirnov	0.171	0.819
Anderson-Darling	0.656	0.065

Note. Additional results provided by *moretests*



1ra dinámica diaria de potencial hídrico (10:30)

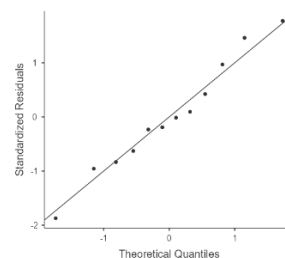
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.0106	2	0.00531	0.712	0.528
Orientación	0.0867	1	0.08670	11.633	0.014
Panel	0.0768	1	0.07680	10.305	0.018
Orientación * Panel	0.0133	1	0.01333	1.789	0.230
Error	0.0447	6	0.00745		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.977	0.969
Kolmogorov-Smirnov	0.130	0.971
Anderson-Darling	0.183	0.888

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12196

Error: 0,0075 gl: 6

Orientación	Medias	n	E.E.	
E-O	-1,14	6	0,04	A
N-S	-1,31	6	0,04	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12196

Error: 0,0075 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-1,14	6	0,04	A
SP	-1,30	6	0,04	B

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

1ra dinámica diaria de potencial hídrico (13:00)

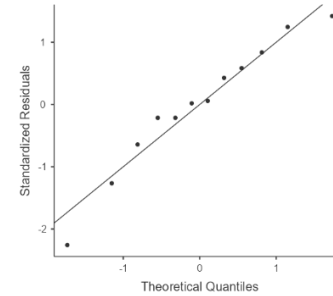
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.03020	2	0.01510	1.0295	0.413
Orientación	0.00333	1	0.00333	0.2273	0.650
Panel	0.47203	1	0.47203	32.1841	0.001
Orientación * panel	5.33e-4	1	5.33e-4	0.0364	0.855
Error	0.08800	6	0.01467		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.954	0.691
Kolmogorov-Smirnov	0.169	0.829
Anderson-Darling	0.245	0.699

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17109

Error: 0,0147 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-1,04	6	0,05	A
SP	-1,43	6	0,05	B

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

1ra dinámica diaria de potencial hídrico (15:30)

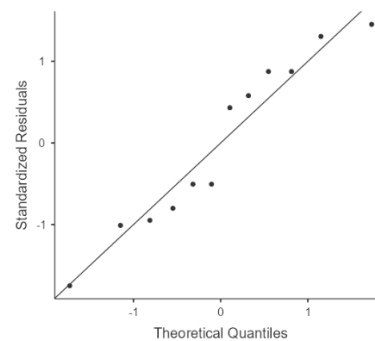
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.0572	2	0.02858	3.1220	0.118
Orientación	0.0133	1	0.01333	1.4568	0.273
Panel	0.2187	1	0.21870	23.8944	0.003
Orientación * Panel	3.00e-4	1	3.00e-4	0.0328	0.862
Error	0.0549	6	0.00915		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.933	0.412
Kolmogorov-Smirnov	0.186	0.738
Anderson-Darling	0.388	0.328

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13516

Error: 0,0092 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-1,25	6	0,04	A
SP	-1,52	6	0,04	B

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

1ra dinámica diaria de potencial hídrico (18:00)

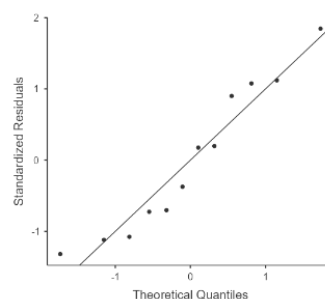
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.04380	2	0.02190	1.901	0.229
Orientación	0.06307	1	0.06307	5.474	0.058
Panel	0.28521	1	0.28521	24.753	0.003
Orientación * Panel	0.00141	1	0.00141	0.122	0.739
Error	0.06913	6	0.01152		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.929	0.368
Kolmogorov-Smirnov	0.166	0.843
Anderson-Darling	0.364	0.377

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15164

Error: 0,0115 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-0,89	6	0,04	A
SP	-1,20	6	0,04	B

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

1ra dinámica diaria de potencial hídrico (20:30)

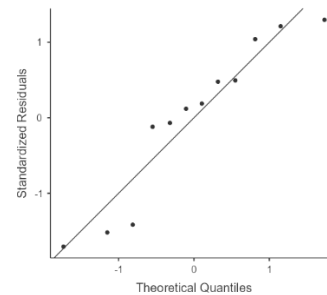
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.02652	2	0.01326	2.780	0.140
Orientación	0.02430	1	0.02430	5.095	0.065
Panel	0.00333	1	0.00333	0.699	0.435
Orientación * Panel	0.00000	1	0.00000	0.000	1.000
Error	0.02862	6	0.00477		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.896	0.140
Kolmogorov-Smirnov	0.204	0.627
Anderson-Darling	0.512	0.155

Note. Additional results provided by *moretests*



Anexo 3. Análisis de varianza ANOVA y análisis de supuestos (Segunda dinámica diarias de potencial hídrico 10-03-2022)

2da dinámica diaria de potencial hídrico (06:00)

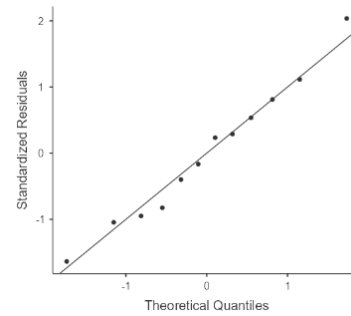
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.0190	2	0.00952	1.29641	0.340
Orientación	8.33e-6	1	8.33e-6	0.00113	0.974
Panel	4.08e-4	1	4.08e-4	0.05558	0.821
Orientación * Panel	6.75e-4	1	6.75e-4	0.09187	0.772
Error	0.0441	6	0.00735		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.982	0.989
Kolmogorov-Smirnov	0.119	0.988
Anderson-Darling	0.145	0.954

Note. Additional results provided by *moretests*



2da dinámica diaria de potencial hídrico (08:30)

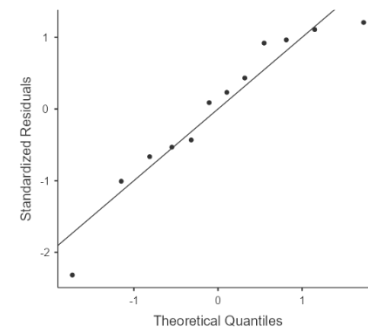
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.11852	2	0.05926	5.238	0.048
Orientación	0.03521	1	0.03521	3.112	0.128
Panel	0.03967	1	0.03967	3.507	0.110
Orientación * Panel	0.00241	1	0.00241	0.213	0.661
Error	0.06788	6	0.01131		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.924	0.319
Kolmogorov-Smirnov	0.144	0.935
Anderson-Darling	0.330	0.459

Note. Additional results provided by *moretests*



2da dinámica diaria de potencial hídrico (11:00)

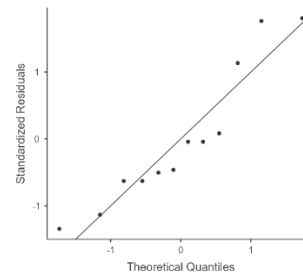
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.00860	2	0.00430	1.3627	0.325
Orientación	0.00907	1	0.00907	2.8759	0.141
Panel	0.03101	1	0.03101	9.8266	0.020
Orientación * Panel	2.08e-4	1	2.08e-4	0.0660	0.806
Error	0.01893	6	0.00316		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.890	0.117
Kolmogorov-Smirnov	0.218	0.547
Anderson-Darling	0.585	0.100

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07936

Error: 0,0032 gl: 6

Panel Medias	n	E.E.	
CP	-1,27	6	0,02 A
SP	-1,37	6	0,02 B

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

2da dinámica diaria de potencial hídrico (13:30)

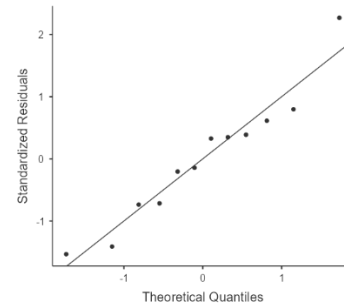
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.00140	2	7.00e-4	0.0527	0.949
Orientación	0.05603	1	0.05603	4.2166	0.086
Panel	0.09363	1	0.09363	7.0460	0.038
Orientación * Panel	0.00750	1	0.00750	0.5644	0.481
Error	0.07973	6	0.01329		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.948	0.614
Kolmogorov-Smirnov	0.139	0.949
Anderson-Darling	0.290	0.549

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16286

Error: 0,0133 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-1,31	6	0,05	A
SP	-1,48	6	0,05	B

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

2da dinámica diaria de potencial hídrico (16:00)

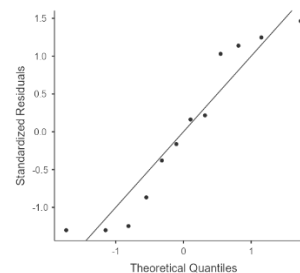
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.01040	2	0.00520	0.68824	0.538
Orientación	0.04201	1	0.04201	5.55993	0.056
Panel	7.50e-5	1	7.50e-5	0.00993	0.924
Orientación * Panel	0.00801	1	0.00801	1.05993	0.343
Error	0.04533	6	0.00756		

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.901	0.163
Kolmogorov-Smirnov	0.171	0.816
Anderson-Darling	0.418	0.275

Note. Additional results provided by *moretests*



2da dinámica diaria de potencial hídrico (18:30)

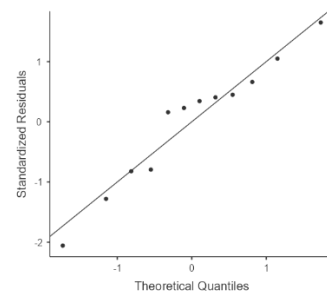
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.01762	2	0.00881	0.4940	0.633
Orientación	0.09187	1	0.09187	5.1527	0.064
Panel	0.16101	1	0.16101	9.0299	0.024
Orientación * Panel	0.00101	1	0.00101	0.0566	0.820
Error	0.10698	6	0.01783		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.950	0.633
Kolmogorov-Smirnov	0.227	0.496
Anderson-Darling	0.382	0.340

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,18864

Error: 0,0178 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-0,86	6	0,05	A
SP	-1,10	6	0,05	B

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

2da dinámica diaria de potencial hídrico (21:00)

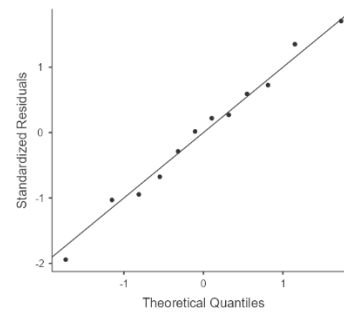
ANOVA

	SC	GL	CM	F	p
Bloque	0.00452	2	0.00226	0.4638	0.650
Orientación	0.01920	1	0.01920	3.9430	0.094
Panel	0.05603	1	0.05603	11.5071	0.015
Orientación * Panel	3.00e-4	1	3.00e-4	0.0616	0.812
Error	0.02922	6	0.00487		

Normality tests

	statistic	P
Shapiro-Wilk	0.986	0.998
Kolmogorov-Smirnov	0.0898	1.000
Anderson-Darling	0.126	0.978

Note. Additional results provided by *moretests*



Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09858

Error: 0,0049 gl: 6

Panel	Medias	n	E.E.	
CP	-0,55	6	0,03	A
SP	-0,69	6	0,03	B

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

Anexo 4. Análisis exploratorio y análisis de supuestos del contenido de humedad del suelo profundidad 0-30 cm.

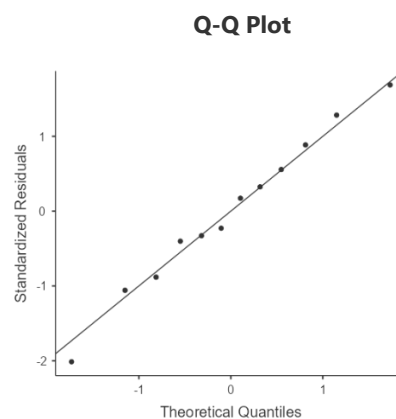
Medidas resumen

Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
EO	CP	Prof.	3	2,62	1,11	42,57
EO	SP	Prof.	3	0,80	1,05	130,57
NS	CP	Prof.	3	2,46	1,76	71,37
NS	SP	Prof.	3	1,58	1,63	103,31

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.989	0.999
Kolmogorov-Smirnov	0.100	0.999
Anderson-Darling	0.114	0.988

Note. Additional results provided by *moretests*



Anexo 5. Análisis exploratorio y análisis de supuestos del contenido de humedad del suelo profundidad 30-60 cm.

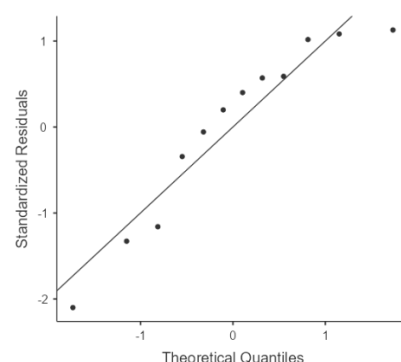
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
EO	CP	Prof.	3	5,74	0,87	15,08
EO	SP	Prof.	3	3,18	1,99	62,76
NS	CP	Prof.	3	3,85	0,83	21,60
NS	SP	Prof.	3	3,22	2,55	78,98

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.904	0.177
Kolmogorov-Smirnov	0.159	0.876
Anderson-Darling	0.460	0.213

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 6. Análisis exploratorio y análisis de supuestos del contenido de humedad del suelo profundidad 60-90 cm.

Medidas resumen

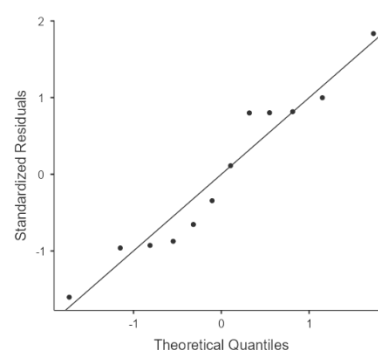
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
EO	CP	Prof.	3	7,29	0,63	8,66
EO	SP	Prof.	3	4,78	1,82	38,10
NS	CP	Prof.	3	7,52	1,36	18,09
NS	SP	Prof.	3	2,99	1,40	46,75

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.940	0.498
Kolmogorov-Smirnov	0.195	0.683
Anderson-Darling	0.397	0.311

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 7. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (% de Brotación)

Medidas resumen

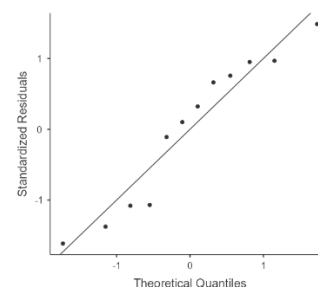
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	%brotación	3	80,42	7,32	9,10
E-O	SP	%brotación	3	89,09	2,19	2,45
N-S	CP	%brotación	3	85,11	6,63	7,79
N-S	SP	%brotación	3	92,14	8,69	9,43

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.919	0.282
Kolmogorov-Smirnov	0.180	0.768
Anderson-Darling	0.436	0.248

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 8. Análisis de supuestos (Longitud total de brotes antes del primer despunte (23/11/2021))

Medidas resumen

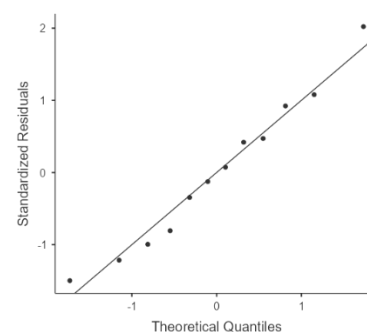
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	crecimiento	3	167,00	16,70	10,00
E-O	SP	crecimiento	3	142,00	11,14	7,84
N-S	CP	crecimiento	3	162,00	5,29	3,27
N-S	SP	crecimiento	3	144,33	6,03	4,18

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.974	0.949
Kolmogorov-Smirnov	0.113	0.993
Anderson-Darling	0.150	0.947

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 9. Análisis de supuestos (Crecimiento de feminelas antes del segundo despunte)

Medidas resumen

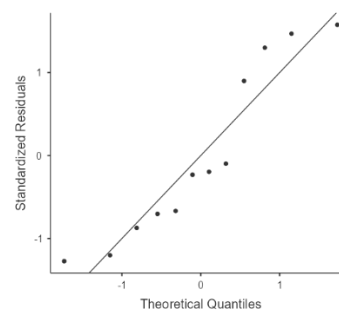
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	crecimiento	3	20,20	5,87	29,04
E-O	SP	crecimiento	3	12,40	3,97	32,01
N-S	CP	crecimiento	3	22,30	4,06	18,22
N-S	SP	crecimiento	3	11,90	1,25	10,53

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.888	0.112
Kolmogorov-Smirnov	0.204	0.629
Anderson-Darling	0.546	0.125

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 10. Análisis de supuestos (Crecimiento de feminelas de segundo orden después del 2do despunte)

Medidas resumen

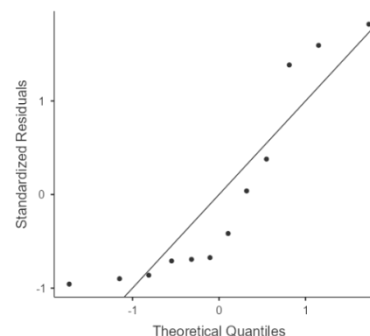
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	crecimiento	3	6,99	1,84	26,31
E-O	SP	crecimiento	3	7,75	1,07	13,79
N-S	CP	crecimiento	3	8,87	1,24	14,00
N-S	SP	crecimiento	3	6,18	0,37	5,93

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.814	0.014
Kolmogorov-Smirnov	0.241	0.423
Anderson-Darling	0.945	0.011

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 11. Análisis exploratorio y análisis de supuesto (Número de brotes por planta)

Medidas resumen

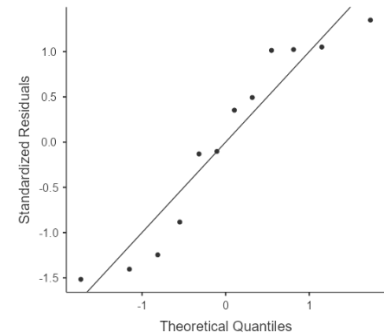
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	Nbrotes/planta	3	23,33	0,90	3,87
E-O	SP	Nbrotes/planta	3	27,27	2,10	7,70
N-S	CP	Nbrotes/planta	3	26,13	2,69	10,28
N-S	SP	Nbrotes/planta	3	29,47	3,11	10,54

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.902	0.169
Kolmogorov-Smirnov	0.167	0.836
Anderson-Darling	0.452	0.224

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 12. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (Número de racimos por planta)

Medidas resumen

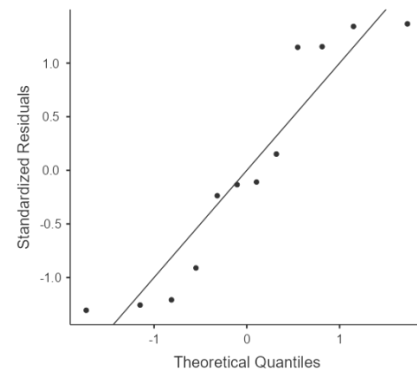
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	Nracimos/planta	3	44,33	1,75	3,94
E-O	SP	Nracimos/planta	3	53,00	3,47	6,55
N-S	CP	Nracimos/planta	3	53,07	5,42	10,21
N-S	SP	Nracimos/planta	3	56,27	3,97	7,06

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.877	0.081
Kolmogorov-Smirnov	0.197	0.669
Anderson-Darling	0.542	0.128

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 13. Análisis de exploratorio y análisis de supuestos (número de racimos por brote)

Medidas resumen

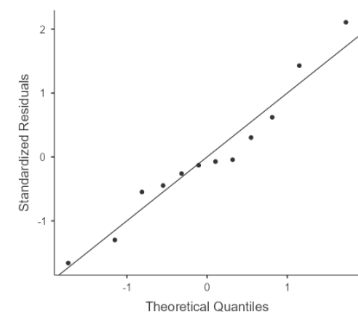
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	Nracimos/Brote	3	1,90	0,03	1,61
E-O	SP	Nracimos/Brote	3	1,95	0,07	3,36
N-S	CP	Nracimos/Brote	3	2,06	0,16	7,57
N-S	SP	Nracimos/Brote	3	1,97	0,22	11,39

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.955	0.713
Kolmogorov-Smirnov	0.183	0.752
Anderson-Darling	0.324	0.476

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 14. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (Número de bayas por racimo)

Medidas resumen

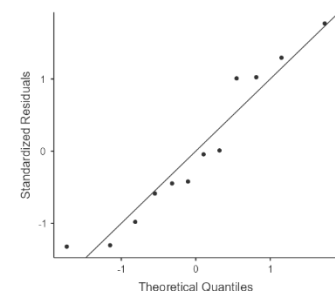
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	NroBayas/Rac	3	73,63	12,32	16,73
E-O	SP	NroBayas/Rac	3	98,32	6,26	6,37
N-S	CP	NroBayas/Rac	3	82,10	1,61	1,96
N-S	SP	NroBayas/Rac	3	91,23	16,05	17,59

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.926	0.337
Kolmogorov-Smirnov	0.166	0.843
Anderson-Darling	0.378	0.348

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexos 15. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (Peso de bayas)

Medidas resumen

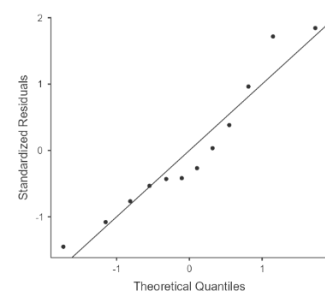
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	Pbaya	3	2,03	0,17	8,23
E-O	SP	Pbaya	3	1,55	0,11	7,09
N-S	CP	Pbaya	3	1,92	0,15	7,54
N-S	SP	Pbaya	3	1,60	0,28	17,56

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.926	0.337
Kolmogorov-Smirnov	0.184	0.746
Anderson-Darling	0.406	0.296

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 16. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (Peso de racimo)

Medidas resumen

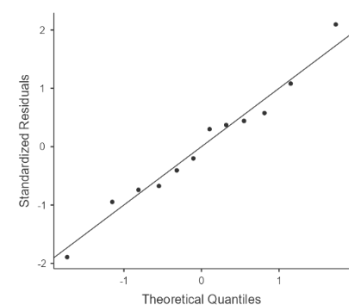
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	PRac	3	151,14	37,10	24,54
E-O	SP	PRac	3	150,04	11,49	7,66
N-S	CP	PRac	3	158,23	11,15	7,05
N-S	SP	PRac	3	137,63	15,15	11,00

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.981	0.987
Kolmogorov-Smirnov	0.124	0.982
Anderson-Darling	0.195	0.860

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 17. Análisis exploratorio y análisis de supuestos (Rendimiento kg por planta)

Medidas resumen

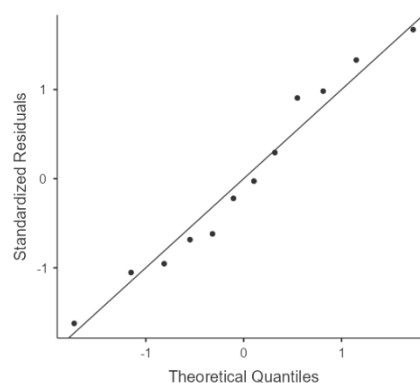
Orientación	Panel	Variable	n	Media	D.E.	CV
E-O	CP	PCosecha	3	5,21	0,39	7,56
E-O	SP	PCosecha	3	7,94	1,10	13,81
N-S	CP	PCosecha	3	6,50	0,79	12,21
N-S	SP	PCosecha	3	7,71	0,39	5,01

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.960	0.789
Kolmogorov-Smirnov	0.140	0.946
Anderson-Darling	0.231	0.749

Note. Additional results provided by *moretests*

Q-Q Plot



Anexo 18. Análisis de varianza ANOVA y análisis de supuestos (Índice de Ravaz)

Normality tests

	statistic	p
Shapiro-Wilk	0.961	0.801
Kolmogorov-Smirnov	0.152	0.906
Anderson-Darling	0.232	0.745

Note. Additional results provided by *moretests*