

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



INDUCCIÓN DE TOLERANCIA A ESTRÉS HÍDRICO EN PLANTAS
JÓVENES DE ARÁNDANOS (*VACCINUM CORYMBOSUM*) A TRAVÉS DE LA
INOCULACIÓN CON *PSEUDOMONAS KOREENSIS*

POR

JOSÉ IGNACIO LEÓN AGUILÓ

MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.

CHILLÁN – CHILE
2025

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**INDUCCIÓN DE TOLERANCIA A ESTRÉS HÍDRICO EN PLANTAS
JÓVENES DE ARÁNDANOS (*VACCINIUM CORYMBOSUM*) A TRAVÉS DE LA
INOCULACIÓN CON *PSEUDOMONAS KOREENSIS***

POR

JOSÉ IGNACIO LEÓN AGUILÓ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE
2025**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Arturo Calderón
Ing. Agrónomo, Ph. D.

Guía

Profesor Asociado, Macarena Gerding
Ing. Agrónomo, Ph. D.

Asesor

Profesor Asociado, Marco Sandoval
Ing. Agrónomo, Mg. Cs, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary.....	1
Introducción	2
Materiales y Métodos	6
Resultados y Discusión	10
Conclusiones	23
Referencias bibliográficas	23

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Déficit de presión de vapor en plantas de arándanos establecidas en invernadero.....	11
Figura 2	Flujo de fotones fotosintéticamente activos en plantas de arándanos establecidas en invernadero.....	12
Figura 3	Expresa el contenido volumétrico del agua en el suelo bajo dos tratamientos de riego.....	13
Figura 4	Expresa el contenido volumétrico del agua en el suelo de tratamiento con y sin presencia de la bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> AG-97.....	14
Figura 5	Presenta el potencial hídrico del tallo en las plantas de arándano con dos tratamientos de riego diferentes.....	16
Figura 6	Presenta el potencial hídrico del tallo en las plantas de arándano, con tratamientos con y sin la presencia de bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> AG-97.....	17
Figura 7	Conductancia estomática de la hoja bajo diferentes tratamiento riego.....	19
Figura 8	Conductancia estomática de la hoja de arándano, con y sin inoculación con la bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> AG-97.....	20
Figura 9	Fluorescencia de clorofila en plantas de arándanos bajo dos tratamientos de riego.....	21
Figura 10	Expresa la fluorescencia de clorofila en la hoja de arándano, con y sin inoculación con la bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> AG-97.....	22

INDUCCIÓN DE TOLERANCIA A ESTRÉS HÍDRICO EN PLANTAS JÓVENES DE ARÁNDANOS (*VACCINIUM CORYMBOSUM*) A TRAVÉS DE LA INOCULACIÓN CON *PSEUDOMONAS KOREENSIS*

INDUCTION OF DROUGHT STRESS TOLERANCE IN YOUNG BLUEBERRY (*VACCINIUM CORYMBOSUM*) PLANTS THROUGH INOCULATION WITH *PSEUDOMONAS KOREENSIS*

Palabras índice adicionales: PGPR, estrés hídrico, déficit de presión de vapor, potencial hídrico del tallo y conductancia estomática.

RESUMEN

Se realizó un ensayo de con un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas en condiciones de invernadero, con el propósito de evaluar el efecto de la inoculación con la cepa AG-97 de la bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas koreensis* sobre la severidad del estrés hídrico en plantas de un año de arándano (*Vaccinium corymbosum* 'Legacy'). Se realizaron mediciones ambientales y fisiológicas en las plantas, las cuales incluyeron: la temperatura del aire (Ta), humedad relativa (HR), déficit de presión de vapor (DPV), potencial hídrico del tallo (SWP), conductancia estomática de la hoja (GSW), eficiencia cuántica máxima del FOTOSISTEMA II (Fv/Fm) y contenido volumétrico de agua en el sustrato. Los resultados obtenidos mostraron que la inoculación con la cepa bacteriana AG-97 mejoró tolerancia al déficit hídrico, reflejándose principalmente en mayores valores de potencial hídrico del tallo y de contenido volumétrico de agua en las plantas inoculadas. Este estudio aporta información relevante para optimizar el manejo hídrico de este cultivo, a partir de la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento y desarrollo vegetal, particularmente en zonas o situaciones donde el agua sea escasa y las temperaturas del aire altas.

SUMMARY

A randomized complete block design with split-plot arrangement was used in greenhouse conditions to evaluate the effect of inoculation with strain AG-97 of the plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas koreensis* on the severity of water stress in one-year-old blueberry plants (*Vaccinium corymbosum* 'Legacy'). Environmental and physiological measurements were taken on the plants, including: air temperature (Ta), relative humidity (RH), vapor pressure deficit (VPD), stem water potential (SWP), leaf stomatal conductance (GSW), maximum quantum efficiency of Photosystem II (Fv/Fm), and volumetric water content in the substrate. The results showed that inoculation with the AG-97 bacterial strain improved tolerance to water deficit, mainly reflected in higher values of stem water potential and volumetric water content in the inoculated plants. This study provides relevant information for optimizing water management in this crop through inoculation with bacteria that promote plant growth and development, particularly in areas or situations where water is scarce and air temperatures are high.

INTRODUCCIÓN

Chile ocupa uno de los principales puestos en la producción de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) frescos a nivel global, clasificándose como el cuarto mayor productor después de Perú, China y EEUU con un volumen exportado de 84.162 toneladas de arándanos frescos durante la temporada 2022/23 (Contreras y Cocio, 2023). Sin embargo, la producción de arándanos chilena se ha visto afectada no solo por el impacto de la competencia de otros países exportadores como Perú, sino que también por una menor disponibilidad de agua de riego en las principales zonas productoras de Chile (regiones del Maule y Ñuble). Esta situación se vuelve más compleja al analizar los resultados de los modelos predictivos del cambio climático en Chile, en donde se estima, para fines de siglo en la zona Centro-Sur del país, una reducción de hasta un 39 % de la acumulación de nieve y un aumento de hasta 4 °C en la temperatura del aire (Bambach *et al.*, 2021). Consecuentemente, se espera que las mayores zonas productoras de arándanos sufran del impacto combinado de una menor disponibilidad de agua y una mayor temperatura del aire. Esto será especialmente complejo durante los meses del verano, después de

cosecha, que es cuando coincide las máximas demandas evaporativas atmosféricas y temperaturas del aire, con la ocurrencia de eventos fenológicos sensibles al estrés hídrico, tales como la inducción y diferenciación de yemas florales y el segundo ciclo de crecimiento de raíces.

Las plantas de arándano, particularmente los cultivares de arándano alto del norte, exhiben raíces muy superficiales, fibrosas y de poca extensión, lo cual vuelve a este cultivo frutal como muy susceptible al déficit hídrico y al exceso de agua (Rebolledo, 2013). Por ejemplo, un estudio realizado en Chile sobre un huerto adulto de arándanos variedad 'Eliot' indicó que la aplicación de un período sin riego después de cosecha indujo reducciones en el rendimiento de las plantas la siguiente temporada cercanos a un 40 % (Undurraga *et al.*, 2013). Los impactos fisiológicos que tiene el estrés hídrico en arándano son variados, e incluyen disminuciones en la conductancia estomática de las hojas, mermas en las tasas fotosintéticas, y pérdida de la conductividad hidráulica de las plantas. En plantas jóvenes de arándanos, 'Top Shelf', cultivados al aire libre, se encontró que una disminución de 0,2 MPa en el potencial hídrico del tallo (alcanzando un estrés hídrico máximo de -1,0 MPa) durante los meses del verano bastaba para reducir la conductancia estomática en un 40 % y en un 25 % la eficiencia del fotosistema II (medida como F_v/F_m) (Calderón-Orellana *et al.*, 2023). Esto quiere decir que, de mantenerse las plantas en una situación de estrés hídrico por un tiempo prolongado en condiciones de alta temperatura diurna, se podría ver considerablemente afectado el crecimiento vegetativo y reproductivo por falta de carbohidratos.

En general, las plantas jóvenes de arándanos son establecidas en los huertos en otoño o a principios de primavera, lo cual corresponden a fines de marzo y mediados de octubre, respectivamente. Las temperaturas durante el otoño en las regiones del Maule y Ñuble han mostrado un aumento en los últimos 20 años, consistente con las tendencias globales de cambio climático. Estudios científicos indican que las temperaturas otoñales promedio han aumentado aproximadamente entre 0,2 °C y 0,3 °C por década en estas regiones, dependiendo de la ubicación específica (Boisier *et al.*, 2018). Esto quiere decir que las plantas cultivadas en esta zona geográfica paulatinamente han ido aumentando sus requerimientos hídricos

otoñales debido al impacto de las mayores temperaturas del aire sobre la evapotranspiración. Además, debido a la menor disponibilidad de agua de riego en la zona Centro-sur de Chile, existe la posibilidad de que las condiciones de plantación otoñal se caractericen por una baja humedad del suelo, especialmente si los suelos son de texturas gruesas y poseen altas velocidades de infiltración. En respuesta a esto, la industria viverista suele realizar la plantación del material vegetal con el sustrato que las rodea en una condición de alta o mediana humedad. Esto con el objetivo de reducir potenciales situaciones de estrés hídrico producidas por el cambio de sustrato a suelo durante el trasplante de una planta a raíz desnuda (sin sustrato).

En el proceso de establecimiento de huertos de arándanos se utilizan sustratos hechos con materiales de diversos orígenes, entre los cuales destacan el “aserrín”, compost de corteza de pino, y fibra de coco, entre los más empleados, debido a que mejoran la estructura del suelo, aumentan la retención de humedad, aumentan el contenido de materia orgánica y protegen a las raíces contra las temperaturas extremas (Retamales *et al.*, 2012). A pesar de estas ventajas, existen importantes dificultades asociadas a la incorporación de estos materiales orgánicos en los suelos o sustratos. Por ejemplo, el “aserrín”, debido a su condición de subproducto de la industria maderera, posee un tamaño de partículas muy desuniforme. Este material puede estar presente desde un fino polvo hasta trozos de madera, por lo cual es frecuente encontrar en suelos de huertos de arándanos capas de aserrín distribuidas verticalmente en función del tamaño de partículas (Calderón-Orellana y Hermosilla, 2024). Una situación similar se puede observar con la fibra de coco en forma de polvo, la cual puede generar flujos preferentes de agua o niveles freáticos colgantes debido a la discontinuidad física entre el sustrato y el suelo, afectando el normal suministro de agua u oxígeno a las raíces (Awang *et al.*, 2009). Adicionalmente, el compost de corteza de pino y el aserrín pueden reducir la disponibilidad del nitrógeno en el suelo debido a una alta relación Carbono:Nitrogeno (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2018) (desde 20:1 a 1000:1).

Aunque estos materiales de sustratos agrícolas pueden emplearse solos, su uso en la industria viverista es más bien mezclados con otros materiales o el suelo. En

un estudio con estacas herbáceas de arándanos de los cultivares Brigitta y Marimba, el uso de sustratos con diversas proporciones de compost mejoraron el comportamiento en variables de crecimiento, incluyendo el número de brotes, la longitud total de los brotes, el peso fresco, el peso seco de las raíces y la superficie de las raíces (Saavedra de la Barra, 2008). En este contexto, la incorporación al suelo de materiales de origen orgánico facilita una mejor distribución y absorción del agua y nutrientes, lo cual contribuye a mantener a las plantas libres de estrés abiótico durante el periodo de establecimiento y producción (Ferri, 2019). La mejora de las propiedades físicas de los sustratos o el suelo es especialmente relevante en zonas de cultivo en donde el suelo presenta texturas predominantemente arenosas o franco-arenosas, lo cual favorece la percolación y lixiviación de agua y nutrientes, respectivamente.

El suelo alberga una amplia variedad de microorganismos, entre los cuales se destacan las rizobacterias, las cuales residen en la zona del suelo influenciada por las raíces, denominada como rizósfera (Cassán *et al.*, 2009). Dentro de este grupo, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son microorganismos pertenecientes a varias especies, géneros y filos que se asocian a una estimulación del crecimiento de plantas, de la defensa contra enfermedades, de la absorción diversos nutrientes, y de una mayor retención de agua en el suelo (Yu *et al.*, 2020). La especie bacteriana *Pseudomonas koreensis* es considerada como una PGPR asociada a una mayor tolerancia al déficit hídrico en plantas. Por ejemplo, Arévalo (2023) encontró en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) bajo un déficit hídrico severo que plantas inoculadas con la cepa AG-97 de *Pseudomonas koreensis* exhibieron mayores potenciales hídricos del tallo que plantas sin inocular. Aunque este efecto es promisorio, es imprescindible evaluar si es replicable en otros cultivos agrícolas, especialmente considerando que gran parte de Chile ha sido afectado por la escasez de agua. Debido a la falta de información de la inoculación con PGPR's en especies frutales, se realizó un estudio cuyo objetivo fue explorar el impacto de la inoculación con la cepa AG-97 de *Pseudomonas koreensis* sobre las relaciones hídricas de plantas jóvenes de arándano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes generales.

El estudio fue desarrollado en los invernaderos del edificio “Humberto Serri Gallegos” del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, los cuales se sitúan en la comuna de Chillán, Región de Ñuble, Chile. La nave del invernadero empleado era de 40 m² con cubierta de vidrio transparente, orientación norte-sur, y ventilación lateral. El invernadero no contaba con control climático. Las plantas fueron mantenidas en mesones ubicados sobre el suelo nivelado, cubierto con hormigón. Los mesones fueron fabricados con perfiles metálicos, y una cubierta metálica con diseño de malla a 1 m del suelo para asegurar el drenaje libre de las macetas y evitar la acumulación de agua después de cada evento de riego. Se monitorearon las condiciones ambientales del invernadero, reportándose temperaturas del aire al mediodía entre 3 °C y 5 °C por sobre la temperatura del ambiente, con una humedad relativa entre 40 y 50 %.

El período experimental se extendió desde el 24 de enero del 2024 hasta el 3 de mayo del mismo año. En este estudio, se utilizaron plantas de arándano cultivar ‘Legacy’ de un año de edad, las cuales se establecieron en un sustrato con 70 % de fibra de coco y 30 % de suelo mineral de textura arenosa en maceteas de 1,5 litros. Se utilizaron plantas del cultivar ‘Legacy’ debido a que estas representan un alto porcentaje de los genotipos cultivados en Chile. De hecho, el 35 % de las plantas de arándanos vendidas en Chile durante el año 2022 correspondieron a este cultivar (Artacho *et al.*, 2023).

Las macetas se ubicaron inicialmente en un sombreadero, regado con microaspersión, con emisores de 30 L h⁻¹, bajo una malla plástica de color negro (HDPE), de 30 % sombra para no exponer a las plantas a condiciones de estrés hídrico y radiativo-térmico después del transplante. Las plantas fueron inoculadas con la cepa AG-97 de *Pseudomonas koreensis* el día 06 de febrero 2024. Para esto, la cepa bacteriana fue reactivada desde criopresevación (-80 °C) en placas Petri con agar nutritivo estándar (Difco: France) que fueron incubadas a 25 °C y en oscuridad por 24 h. Una vez desarrolladas las colonias, se inoculó un matraz con

caldo nutritivo estándar (Difco: France) para la multiplicación de las bacterias en agitación constante a 25 °C por 33 h hasta alcanzar una población aproximada de 10^9 UFC mL⁻¹. Luego de verificar la población bacteriana mediante , se estandarizó la población a 10^5 UFC mL⁻¹ para luego aplicar 10 mL por maceta. Para favorecer el proceso de inoculación, se regaron las macetas el día anterior para que el sustrato estuviese en un 100 % de capacidad de contenedor, pues este estado hídrico del sustrato facilita la movilidad y la colonización de las bacterias en la rizósfera. El material vegetal se mantuvo en el sombreadero hasta el 1 de marzo del 2024, con el fin de que las plantas inoculadas tuvieran un periodo de aclimatación, aproximadamente de un mes antes de someterlas a un estrés hídrico severo con la aplicación de los tratamientos de riego, con el fin de permitir el establecimiento, reproducción y actividad de los microorganismos aclimatados al ambiente edáfico de las macetas

A partir del 1 de marzo del 2024, las plantas fueron trasladadas a los invernaderos con el objetivo de ser sometidas a condiciones de mayor temperatura ambiente. En el invernadero, las plantas fueron regadas con 0,15 litros de agua dos veces por semana, lo cual fue suficiente para reponer entre un 100 % y 50 % de la capacidad del contenedor entre eventos de riego. La capacidad de contenedor de la maceta fue previamente establecida como un contenido volumétrico de agua de $0,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de acuerdo con las evaluaciones realizadas en el laboratorio de edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

Se aplicaron los tratamientos de riego desde el 8 de marzo hasta el 23 de abril de 2024, en donde el "Control" consistió en continuar con las prácticas de riego anteriormente descritas, mientras que el tratamiento "Dry" consistió en reducir la cantidad de agua aplicada en un 50 % y disminuir la frecuencia de riego a una vez por semana. Esto con el fin de simular una menor disponibilidad de agua de riego al finalizar la temporada. Desde el 23 de abril, se cesó el riego por completó para ambos tratamiento hasta el día 2 de mayo, en donde se realizó una reposición de agua hasta alcanzar el 100 % de la capacidad del contenedor de la maceta.

Diseño experimental.

El diseño experimental correspondió a bloques completamente aleatorizados con

parcelas divididas. Se decidió bloquear el ensayo, pues las plantas se ubicaron a un costado de la nave, en donde se presentaban gradientes de radiación solar, temperatura del aire, velocidad del viento y humedad. Esto permitió tener en cuenta estas variabilidades, asegurando resultados más precisos y confiables en el experimento. El estudio consideró 3 bloques, en donde la parcela principal fue el tratamiento de riego, mientras que la sub-parcela fue el tratamiento de inoculación. Cada unidad experimental consistió en 2 plantas.

Evaluaciones.

Se realizaron diversas evaluaciones para establecer las condiciones micro climáticas y los avances en el desarrollo de las plantas de arándano a lo largo del tiempo. Estas evaluaciones se llevaron a cabo sin la presencia de frutos, ya que las plantas empleadas tenían tan solo un año de edad. Las mediciones se realizaron al mediodía solar, comprendido entre las 12:00 am y las 15:30 pm, dado que en ese periodo se presenta la mayor demanda evaporativa y el máximo estrés hídrico de la planta.

Variables climáticas.

Temperatura y Humedad Relativa del aire (Ta; HR). Para medir la temperatura y la humedad relativa, se utilizó una sonda (HMP60, Vaisala, Helsinki, Finlandia), la cual se ubicó entre los bloques (encontrándose en el bloque 2), además de encontrarse a una altura 0,5m del dosel de las plantas de arándanos. Este dispositivo mide temperaturas y humedad de manera constante a lo largo del día, almacenando la información en un Data Logger (CR300, Campbell Scientific, EE.UU).

Flujo de fotones fotosintéticamente activos (PPFD). Se realizó esta medición con un ceptómetro (LP-80, Decagon Instruments, Washington, DC, EE. UU.), se llevó a cabo a una altura de 0,5 m sobre la altura del dosel de la planta de arándano, de igual manera que la temperatura y humedad relativa del aire.

Déficit de presión de vapor (DPV). Se determinó a través de la ecuación de Howell y Dusek (1995), en donde a partir de los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa del aire.

$$DVP = e_s \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

En donde, DVP = Déficit de presión de vapor (kPa), HR = Humedad relativa (%) y e_s = presión de saturación de vapor (kPa). Para calcular e_s , se empleó la siguiente ecuación:

$$e_s = \exp\left(\frac{16,78 \times T_a - 116,9}{T_a + 237,3}\right)$$

En donde, e_s = Presión de saturación de vapor (kPa) y T_a = Temperatura del aire (°C).

Potencial hídrico del tallo (SWP). Se empleó una cámara de presión (PMS-615, PMS Instruments, EEUU). Antes de realizar las mediciones, se cubrieron los brotes con una bolsa hermética opaca durante al menos 40 minutos, siguiendo el protocolo descrito por McCutchan y Shackel (1992). Este procedimiento previo tiene como propósito establecer condiciones específicas que permitieron obtener mediciones más precisas y reproducibles en la cámara de presión.

Conductancia estomática de la hoja (GSW). El proceso de evaluación de la conductancia estomática de la hoja se llevó a cabo de manera simultánea con la evaluación del potencial hídrico del tallo. Se seleccionaron hojas que no presentasen signos visibles de estrés, ya sea biótico o abiótico. Además, se optó por hojas maduras y expuestas al sol para garantizar la representatividad de las mediciones. Para realizar estas mediciones, se utilizó un porómetro portátil de estado estacionario (SC-1, Decagon Instruments, Washington, DC, EE. UU.).

Eficiencia fotoquímica del fotosistema II (Fv/Fm). Se llevó a cabo la evaluación de la fluorescencia mediante un fluorómetro (Pocket PEA, Hansatech Instruments, Inglaterra, Reino Unido), el cual mide la eficiencia del Fotosistema II (PSII) como rendimiento cuántico en adaptación a la luz (LabFerrer, 2022). Estas mediciones se realizaron en hojas maduras, sanas y expuestas al sol. Para asegurar condiciones, la evaluación se realizó después de que las hojas hayan sido adaptadas a la oscuridad completa durante aproximadamente 30 minutos, según lo recomendado por Reyes-Díaz *et al.*, 2009. Este procedimiento busca obtener mediciones precisas y consistentes de la eficiencia del Fotosistema II en respuesta a la adaptación a la

luz.

Contenido volumétrico de agua del suelo. Se realizó un monitoreo de la humedad del suelo utilizando un sensor de capacitancia (GS-1, Decagon Devices, Washington, DC, EE. UU.). Este sensor estará conectado a un lector portátil de datos, el cual de forma manual e instantánea muestra los resultados (ProCheck, Decagon Devices, Washington, DC, EE. UU.). Todas las mediciones se llevaron a cabo en ambos lados de la planta (norte y sur), manteniendo una distancia constante de 10 cm y alcanzando una profundidad de 5 cm en el suelo. Este monitoreo permitió evaluar la variabilidad en la humedad del suelo y comprender cómo responde a las condiciones específicas del entorno.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para comparar más de dos grupos en el estudio. El ANOVA es apropiado cuando se tienen mediciones repetidas en más de dos ocasiones (Dagnino, 2014). Antes de realizar el ANOVA, se llevó a cabo pruebas de Levene y Shapiro-Wilk para evaluar la homogeneidad de varianza y la normalidad de los errores, respectivamente.

El test de Levene se utilizó para evaluar la homogeneidad de varianza entre los grupos, y el test de Shapiro-Wilk se empleó para verificar la normalidad de los errores. Una vez confirmados estos supuestos, se procedió a realizar la prueba de medias con diferencias mínimas significativas (DMS) con un nivel de confianza del 95%. Para realizar estos análisis, se utilizó el programa estadístico Infostat (Infostat - Statistical software, s. f.). Los gráficos fueron generados utilizando Microsoft Excel.

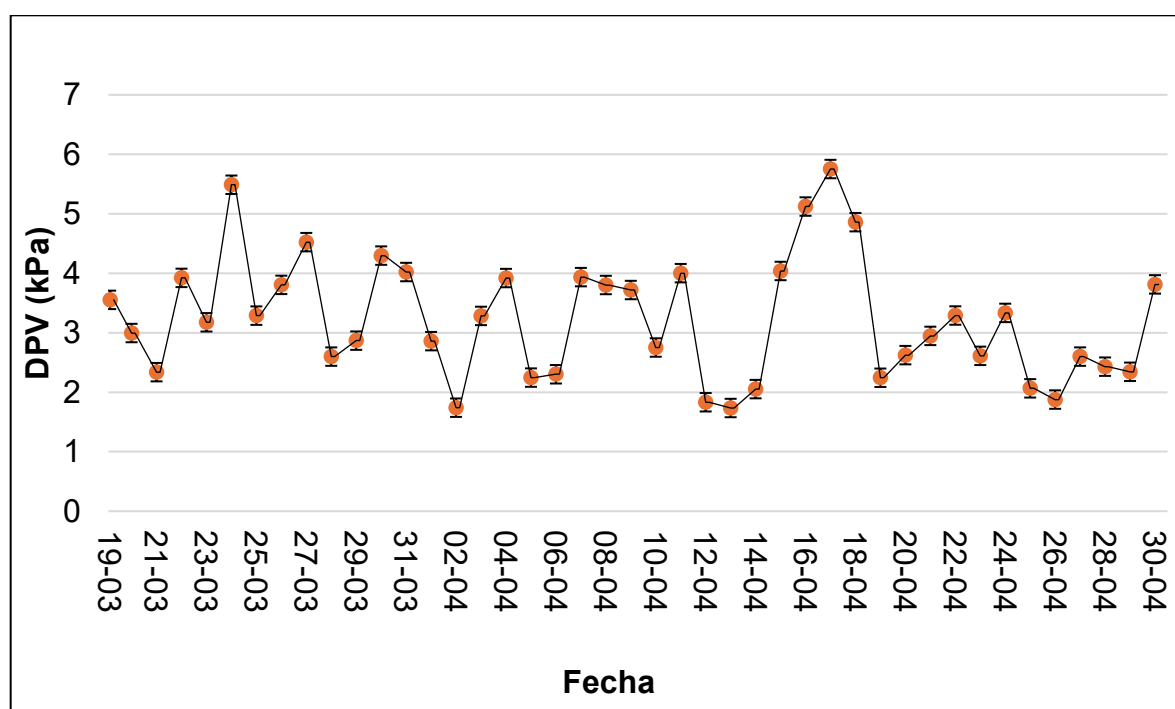
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Condiciones ambientales.

El DPV varió a lo largo del ensayo, promediando 3,23 kPa para el período de estudio. De acuerdo a la figura 1, los máximos valores de DPV de la temporada de mediciones se reportaron a fines de marzo y a mediados de abril (entre 5 y 6 kPa), mientras que los más bajos (entre 1,8 y 2 kPa) se registraron de manera esporádica a inicios y finales del mes de abril.

Rho *et al.* (2012) señalaron que, para plantas de arándanos de 3 años de edad, cultivadas en macetas de 11 L con mezcla suelo - turba, el sustrato enriquece el ambiente con la evaporación del agua, modificando de esta forma el déficit de presión de vapor. Los valores en este estudio oscilan entre 1,2 y 1,4 kPa, siendo estos valores los rangos óptimos para evitar el estrés hídrico durante la temporada de verano en Chile.

Figura 1. Déficit de presión de vapor (DPV) al mediodía (12:00-15:00 h) en el invernadero durante el período experimental.



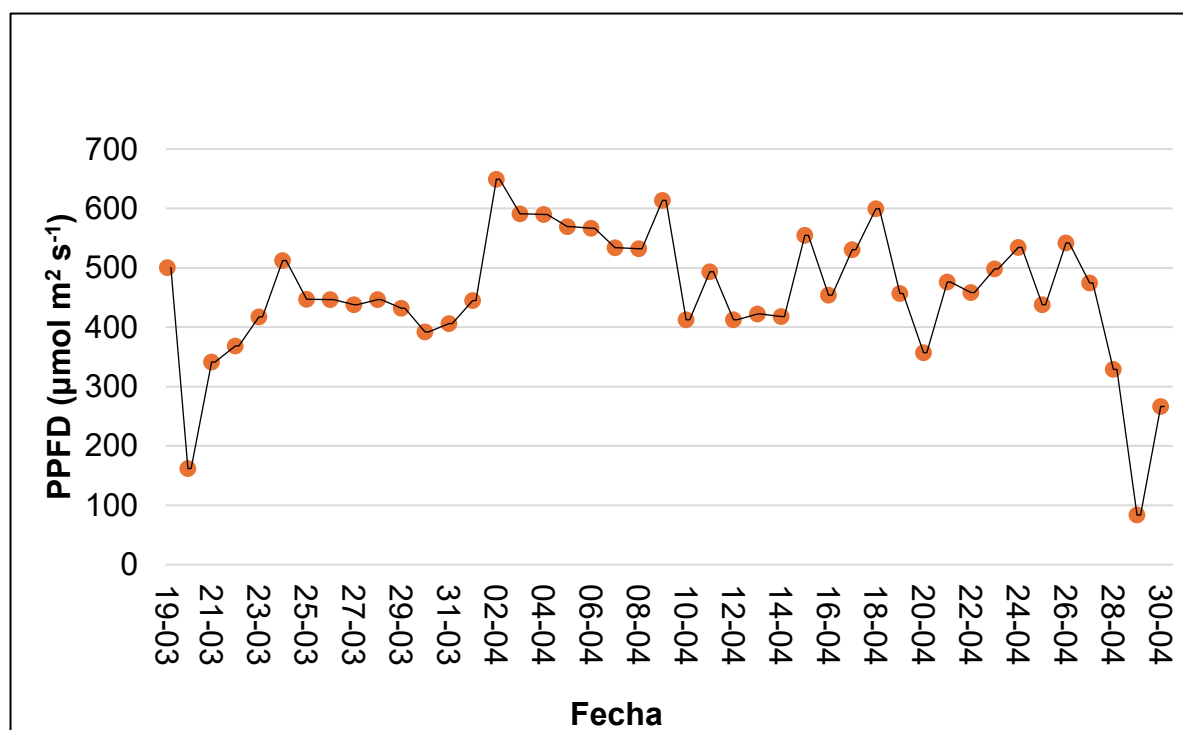
*DPV = Déficit de presión de vapor (kPa). Barras de error del grafico representan al error estándar.

En el trabajo de Rho *et al.* (2012), los datos de DPV se ajustaron al modelo exponencial: $y = a + be^{-cx}$ establecido por Iqbal *et al.* (1996), donde finalmente reportaron que los valores adecuados de PPFD para evitar estrés hídrico en arándanos se encuentran cercanos a los $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De acuerdo a estos científicos, las plantas de arándano 'Bluecrop', se saturaron lumínicamente a los $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El día 20 de marzo se registró el valor mínimo estacional de $161,8 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, mientras que los días 2 y 9 de abril lograron los máximos de $649,18 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ y $613,55 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, obteniéndose un promedio de $456,03 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (Figura 2).

Para el presente ensayo, las plantas se ubicaron dentro de un invernadero con escasas ventanillas de ventilación, por lo que se mantenía la humedad dentro del invernadero y aumentaban las temperaturas, es por esto que las temperaturas al interior de invernadero alcanzaban a lo largo de todo el día, temperaturas promedio de $38,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en los días más críticos. Por estas razones, los valores de déficit de presión de vapor se encuentran en $3,23 \text{ kPa}$, siendo esto un valor alto para este cultivo. Además, para el flujo de fotones fotosintético, se presentó un promedio de $456,03 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ a lo largo de todo el ensayo, lo cual también está en un valor elevado para los parámetros descritos anteriormente, y demuestra, al igual que DVP, un estrés hídrico en el ambiente.

Figura 2. Flujo de fotones fotosintéticamente activos al mediodía (12:00-15:00 h) en el invernadero durante el período experimental.



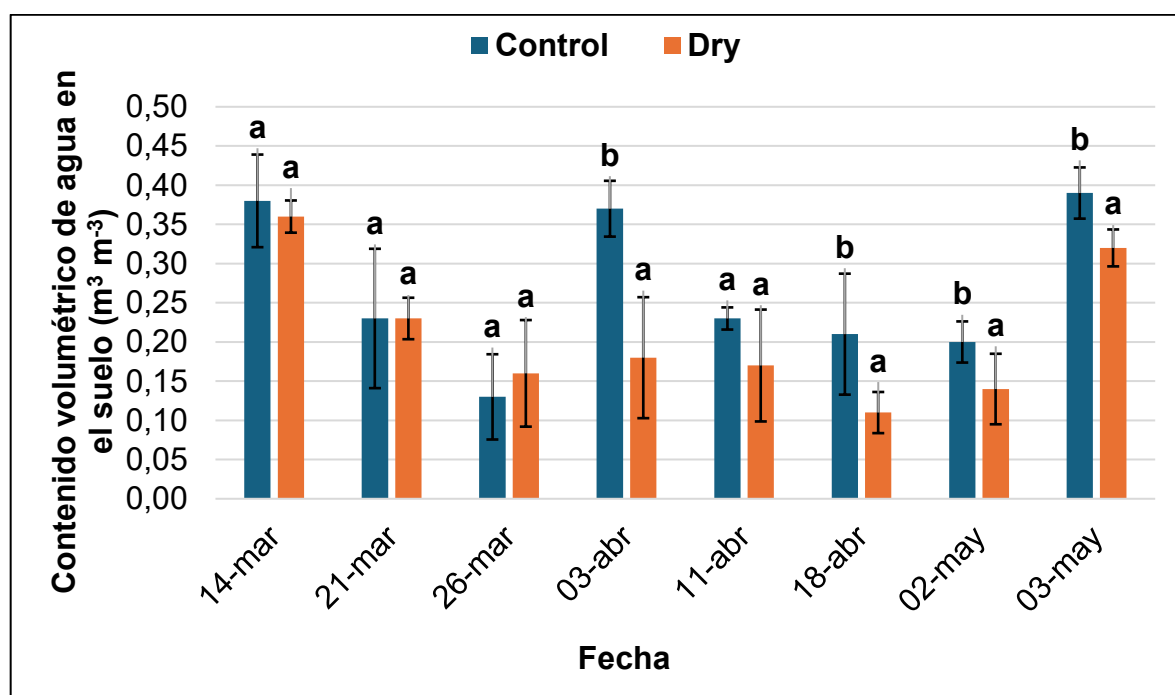
*PPFD = Flujo de fotones fotosintéticos ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$).

Contenido volumétrico de agua del suelo.

Tratamientos de riego. Se detectaron diferencias significativas en el contenido volumétrico de agua en el suelo para diferentes fechas en donde el 3 de abril, se obtuvieron valores de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ y $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, el 18 de abril fueron de $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ y $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, el 2 de mayo, los valores fueron de $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ y $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, y finalmente el 3 de mayo alcanzaron valores de $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ y $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ en cada uno de los tratamientos, "Control" y "Dry" respectivamente (Figura 3). En los demás días, no se detectaron diferencias significativas.

Cabe destacar que la velocidad de respuesta para el tratamiento "Dry", es lenta en la disminución del contenido volumétrico del agua en el suelo.

Figura 3. Contenido volumétrico del agua en el suelo bajo dos tratamientos de riego (Control: Plantas regadas a 100 % CC y Dry: Plantas bajo riego deficitario controlado).



*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

Los resultados de este estudio son consistentes con los descritos por Keen *et al.* (2012), quienes realizaron investigaciones en plantas de arándano en condiciones de campo, aplicando riegos al 50 %, 75 % y 100 %, en donde sus resultados para cada una de estas aplicaciones de agua estuvo en los 0,31, 0,32 y

0,36 m³ m⁻³ aproximadamente. En su conclusión, los autores señalaron que se generaron diferencias significativas en momentos específicos, además señalando que estos porcentajes de riego se pudieron ver afectados debido a las precipitaciones ocurridas durante el periodo, dado que las plantas inicialmente estaban destinadas a condiciones de mayor estrés hídrico.

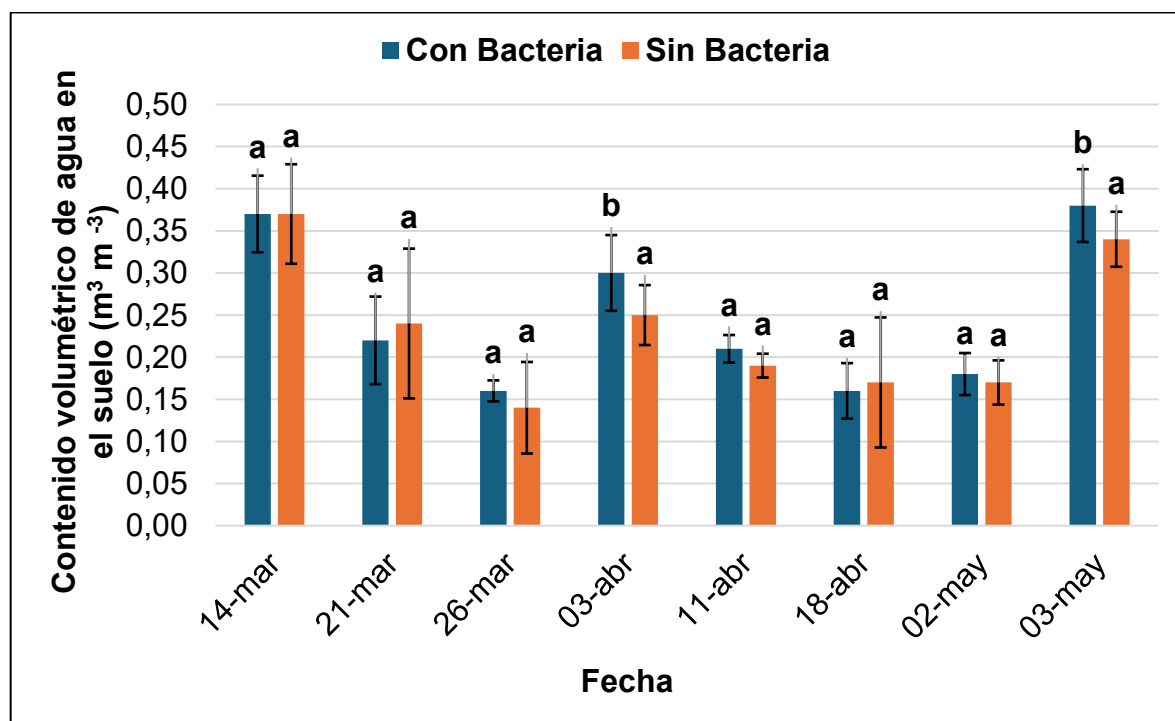
Para el presente estudio los riegos para el tratamiento "Control" se realizaron dos veces a la semana, para "Dry" se realizaba solo un día a la semana. Por lo que estos resultados se pudieran haber visto afectados, debido que existió un periodo muy breve desde que se realizó el riego en las plantas "Dry" antes de realizar las mediciones correspondientes.

Tratamiento bacteria. El tratamiento con bacteria mostró diferencias significativas únicamente en dos fechas específicas. Para el día 3 de abril, el tratamiento "Con bacteria" presentó un contenido volumétrico de agua de 0,30 m³ m⁻³, mientras que el tratamiento "Sin bacteria" mostró un valor de 0,25 m³ m⁻³ (diferencia de 17%). De forma similar, el día 3 de mayo, los valores fueron de 0,38 m³ m⁻³ para el tratamiento "Con bacteria" y de 0,34 m³ m⁻³ para el tratamiento "Sin bacteria" (diferencia de 11%) (Figura 4).

Los resultados del presente estudio mostraron una tendencia a exhibir una mayor retención de humedad en los suelos de las plantas inoculadas, siendo esta diferencia significativa en dos de cinco oportunidades. Guo *et al.* (2023) realizaron un ensayo utilizando una cepa de *Pseudomonas koreensis*, con el fin de comprobar su capacidad de aliviar el estrés por sequía en tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Al momento de realizar las evaluaciones de contenido relativo de agua en la planta, se dieron cuenta que el tratamiento inoculado presentaba valores 25% más elevados. Aunque en este estudio no se conoce la razón por la cual, las plantas de arándanos inoculadas tendieron a estar en suelos ligeramente más húmedos, se sabe que un suelo inoculado con bacterias PGPR's puede tener un mayor contenido de humedad debido al impacto de ciertos mecanismos biológicos. Por ejemplo, muchas PGPR's, como *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp. inducen la síntesis de exopolisacáridos (EPS), los cuales pueden formar una matriz alrededor de las partículas del suelo y aumentar la retención de agua de estas. Además, se ha

reportado que algunas PGPR's pueden estabilizar los agregados del suelo, aumentando con esto su capacidad de retención de humedad (Vurokanda *et al.*, 2016).

Figura 4. Expresa el contenido volumétrico del agua en el suelo de tratamiento con y sin presencia de la bacteria *Pseudomonas koreensis* AG-97.



*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

Condición de la planta

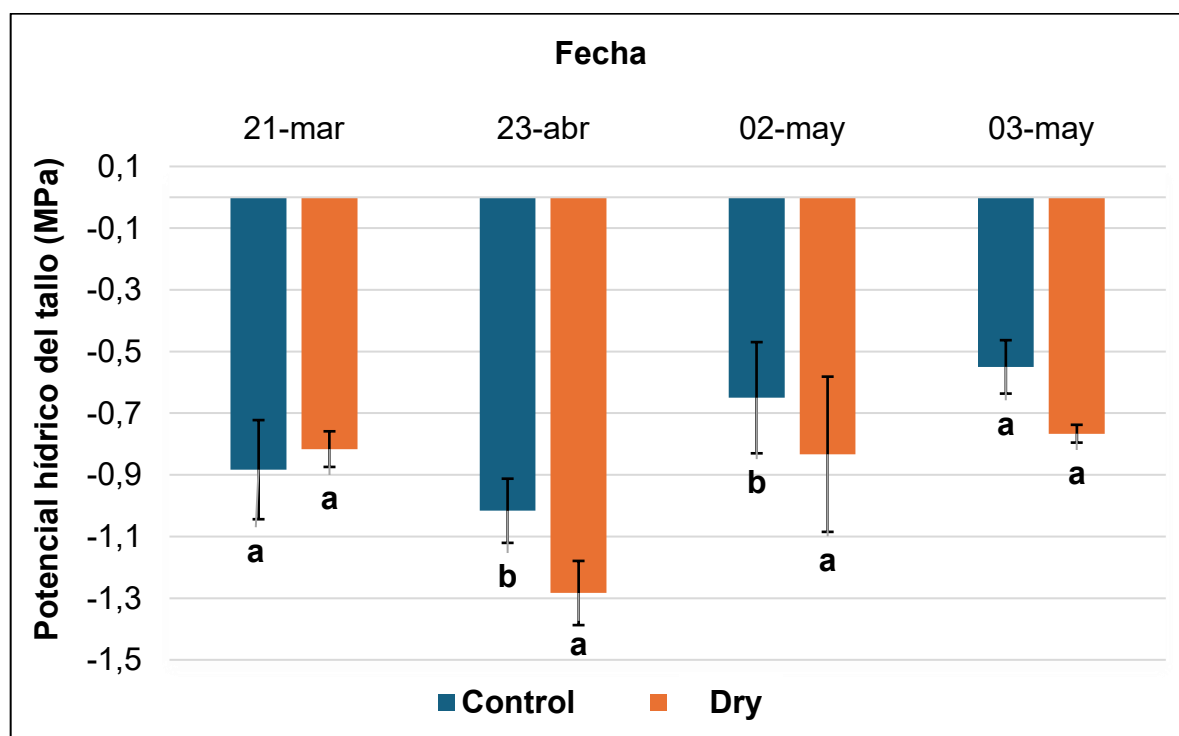
Los resultados del ANOVA mostraron que, para las variables medidas para caracterizar la condición fisiológica de la planta, no se detectaron interacciones significativas entre los tratamientos de riego y bacterias (datos no mostrados). Por lo cual, solamente se presentan los efectos simples para los tratamientos de riego y bacteria.

Potencial hídrico del tallo (SWP)

Tratamiento riego. El 21 de marzo, antes de aplicar los tratamientos de riego, las plantas alcanzaron en promedio un SWP de -0,7 MPa, sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos. El 23 de abril, las plantas bajo el tratamiento Dry

exhibieron un SWP significativamente menor (-1,28 MPa) que las plantas Control (-1,02 MPa). Al cabo de 9 días después de cortado el riego, el 2 de mayo, los valores de SWP de las plantas Dry alcanzaron los -0,83 MPa y los -0,65 MPa en las plantas de riego Control. Al día siguiente, 3 de mayo, las plantas de ambos tratamientos de riego alcanzaron un promedio de -0,6 MPa, y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Ese mismo día, se realizó la reanudación del riego, con posterioridad a un período de 9 días sin riego, con la finalidad de recuperar las plantas luego de estar sometidas varias semanas de déficit hídrico.

Figura 5. Presenta el potencial hídrico del tallo en las plantas de arándano con dos tratamientos de riego diferentes (Control: Plantas regadas a 100 % CC y Dry: Plantas bajo riego deficitario controlado).



*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

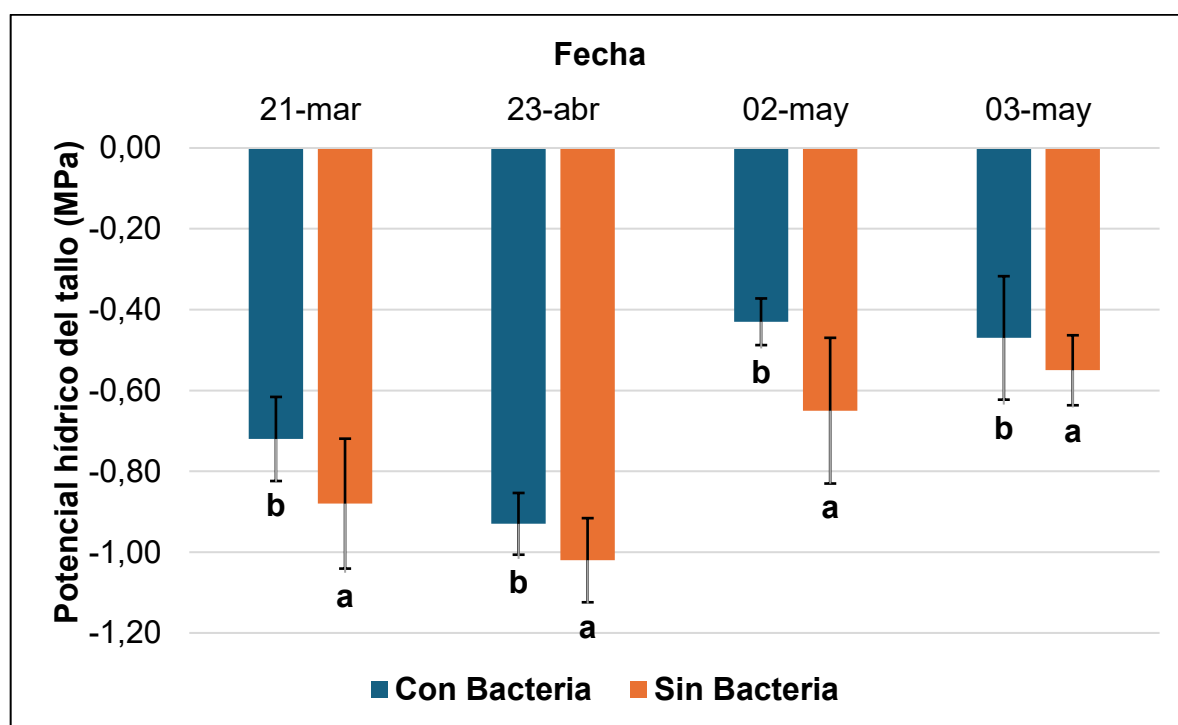
Glass *et al.* (2003) también señalaron que, al reanudar el riego en las plantas sometidas a estrés hídrico, estas mostraron una recuperación significativa, alcanzando un potencial hídrico de -0,7 MPa. Esto indica que, al rehidratar con la misma cantidad de agua, a plantas que por un periodo de tiempo prolongado se les

aplico diferentes tratamientos de riego, y posteriormente una situación de sequía total, los valores de potencial hídrico del tallo se hicieron menos negativos, lo que sugiere una disminución del estrés hídrico, llegando el tratamiento "Dry" casi a los mismos valores observados en las plantas del tratamiento "Control".

Las plantas de arándanos son particularmente susceptibles al estrés hídrico moderado. Cuando el SWP llega a ser de -1,2 MPa se puede inducir la embolia del xilema, por lo cual las plantas de arándano suelen cerrar sus estomas a estos niveles de estrés hídrico para limitar la deshidratación irreversible de las planta (Calderón-Orellana *et al.*, 2023).

Tratamiento bacteria. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en cada una de las fechas evaluadas (Figura 6).

Figura 6. Presenta el potencial hídrico del tallo en las plantas de arándano, con tratamientos con y sin la presencia de bacteria *Pseudomonas koreensis* AG-97.



*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que las plantas tratadas con la bacteria presentaron valores de potencial hídrico menos negativos en

comparación con las plantas que no recibieron el tratamiento, claramente indicando que las plantas con la bacteria experimentaron una menor severidad de estrés hídrico. Para el 21 de marzo, el tratamiento con bacteria presentó un potencial hídrico promedio de -0,72 MPa, mientras que el tratamiento sin bacteria mostró un valor de -0,88 MPa. El 23 de abril, los resultados fueron -0,93 MPa para el tratamiento con bacteria y -1,02 MPa para el tratamiento sin bacteria. El 2 de mayo, el potencial hídrico promedio fue de -0,43 MPa para las plantas con bacteria y -0,65 MPa para las plantas sin bacteria. Finalmente, el 3 de mayo se obtuvieron valores de -0,47 MPa para el tratamiento con bacteria y -0,55 MPa para el tratamiento sin bacteria. El hecho que el tratamiento con la bacteria haya mostrado una clara tendencia a mejorar la capacidad del suelo para retener agua, podría explicar por qué las plantas inoculadas siempre exhibieron una menor severidad de estrés hídrico.

Conductancia estomática de la hoja (GSW).

Tratamiento riego. En Chile, el otoño comienza el 20 de marzo, por lo cual, el periodo de realización del ensayo ocurrió al inicio del período de endodormancia del cultivo. Durante esta fase, las plantas de arándanos 'Legacy' se manifiesta visiblemente por la alteración en el color del follaje (verde a amarillo y amarillo a rojo) seguido por la caída de hojas. Además de estos cambios morfológicos, fisiológicamente, durante ese proceso las plantas comienzan a cerrar sus estomas como parte de su proceso natural de adaptación estacional (Estacio Yalan, 2019). El cierre estomático reduce la evapotranspiración y la entrada de CO₂, por lo que se disminuye la actividad fotosintética, lo cual explicaría los bajos valores de conductancia estomática de las hojas (GSW) registrados en este estudio.

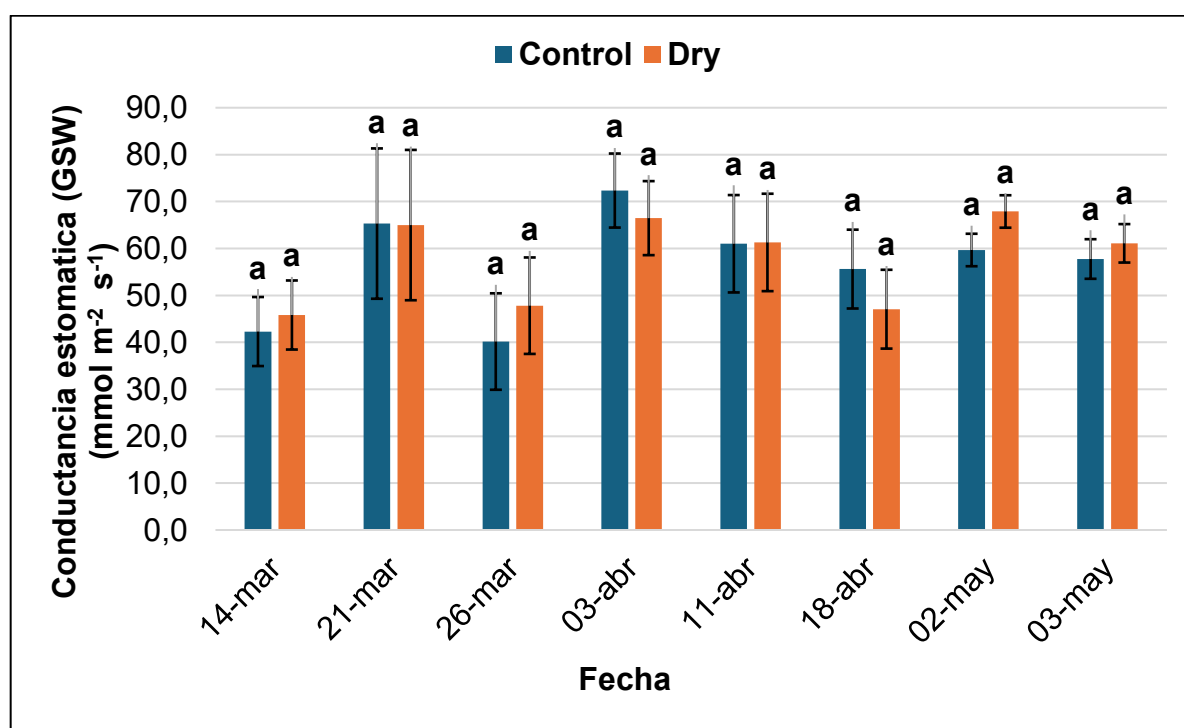
En general, las mediciones obtenidas para la variable GSW indicaron que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego (Figura 7). Esto sugiere que, a pesar de que los tratamientos de riego indujeron consistentemente diferencias significativas en el potencial hídrico del tallo, estas no habrían sido suficientemente grandes para provocar disminuciones en GSW.

La entrada en la endodormancia y su impacto reductor de GSW podría explicar la falta de efectos significativos del riego deficitario, ya que este proceso fisiológico

genera una elevada variabilidad en esta variable. De acuerdo a lo anterior, podría existir una relación con las diferencias del estado fenológico de las plantas individuales dentro del ensayo.

Los resultados sugieren que, en condiciones de otoño y con el inicio de la endodormancia, la regulación estomática de las plantas puede ser un factor sobresaliente sobre la disponibilidad de agua del suelo, reduciendo la sensibilidad de GSW a los tratamientos de riego aplicados. Esto destaca la importancia de considerar el estado fisiológico del cultivo al momento de evaluar respuestas a distintos niveles de riego, ya que la endodormancia podría enmascarar el déficit hídrico sobre variables clave del desempeño fisiológico de la planta.

Figura 7. Conductancia estomática de la hoja bajo diferentes tratamientos de riego (Control: Plantas regadas a 100 % CC y Dry: Plantas bajo riego deficitario controlado).

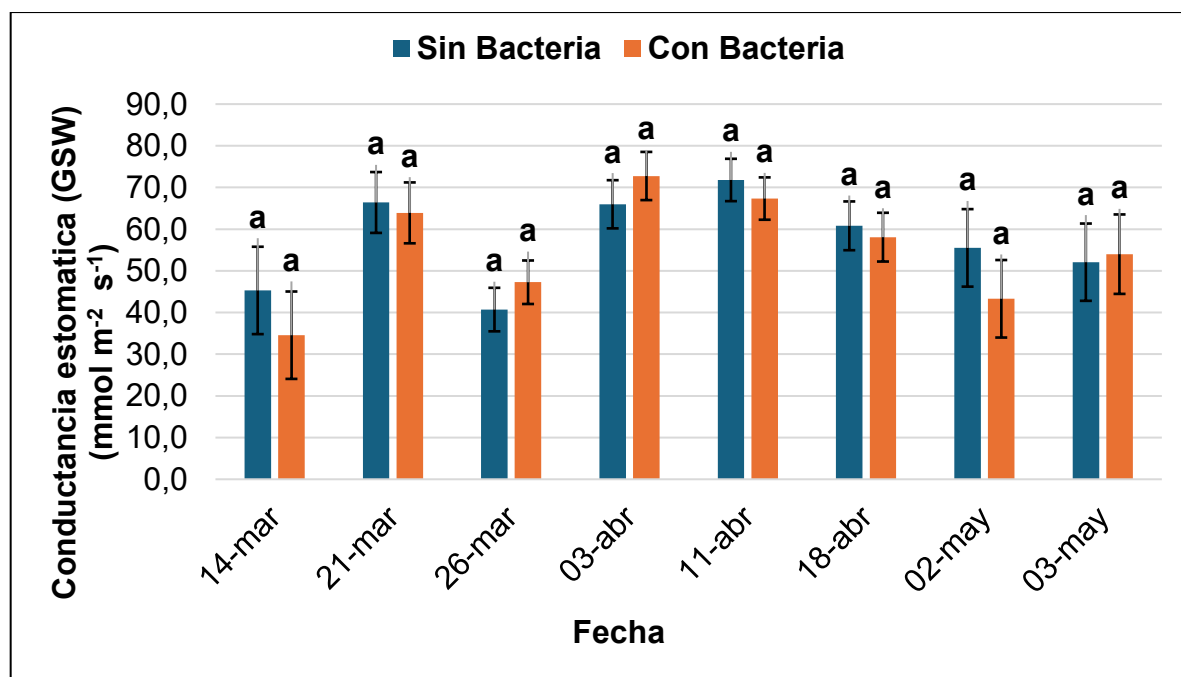


*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

Tratamiento bacteria. De manera similar a los resultados observados en el tratamiento de riego, el tratamiento con la aplicación de bacterias no mostró

diferencias significativas para GSW entre las plantas con y sin presencia de *Pseudomonas koreensis* (Figura 8). El impacto de las bacterias sobre la GSW ha sido estudiado mayormente en hortalizas, más que en especies frutales. Por ejemplo, Nemeskéri *et al.* (2022) encontró que la GSW en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se vio disminuida al aplicar cepas de bacterias PGPR. La bacteria *Pseudomonas koreensis*, debido a ser una bacteria PGPR, estimula el crecimiento y desarrollo vegetal de la planta, pudiendo con ello alterar la GSW de las hojas. Sin embargo, de igual manera que en el tratamiento riego, las plantas de arándanos inoculadas pudieron no haber mostrado cambios en su GSW debido a la entrada en endodormancia. Tal vez, si el presente ensayo se hubiese llevado a cabo previo a la entrada en endodormancia, cuando la GSW es máxima y la evapotranspiración de cultivo es alta se habrían encontrado resultados a los reportados en hortalizas.

Figura 8. Conductancia estomática de la hoja de arándano, con y sin inoculación con la bacteria *Pseudomonas koreensis* AG-97.

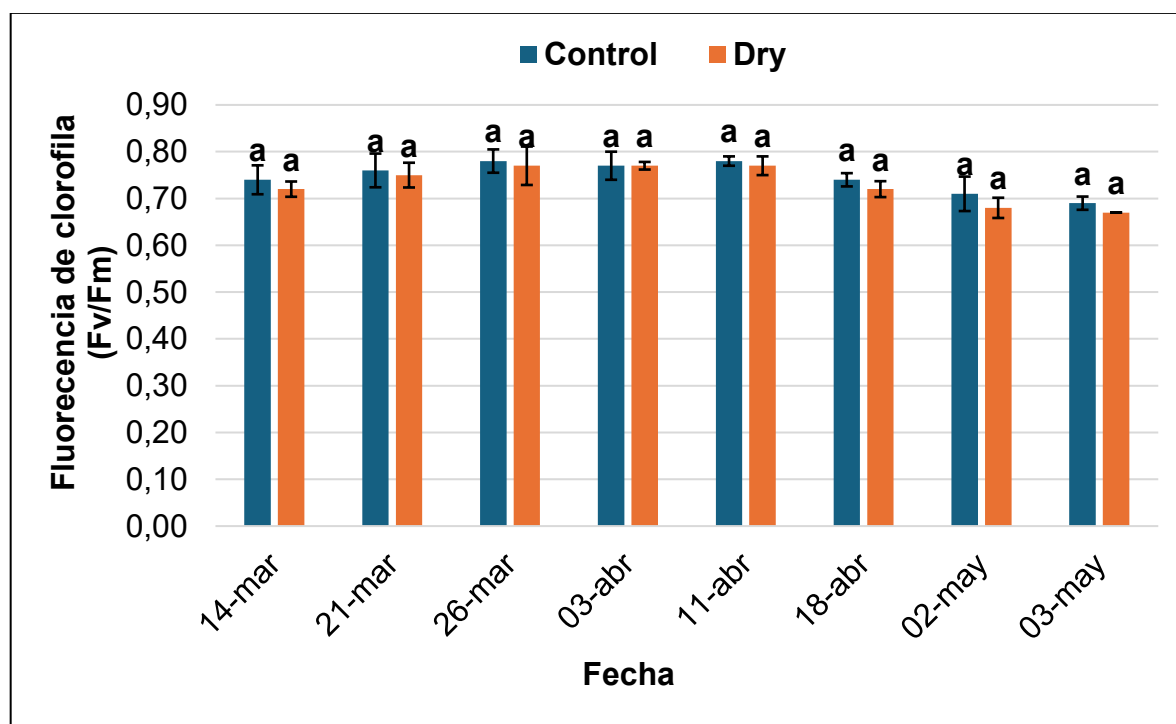


*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 (P ≤ 0,05). Barras de error del grafico representan al error estándar.

Eficiencia fotoquímica del fotosistema II (Fv/Fm)

Tratamiento riego. En general, plantas estresadas hídricamente en condiciones de alta temperatura y cierre estomático tienden a mostrar menores valores de Fv/Fm, reflejando con ello el impacto de la fotoinhibición sobre el fotosistema II (Calderón-Orellana *et al.*, 2023). Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con lo reportado por Yu *et al.* (2015), quien obtuvo que plantas de arándanos expuestas a 5 semanas de déficit hídrico no indujeron diferencias significativas en la relación Fv/Fm. Como el tratamiento de riego no indujo cambios en GSW, era esperable que los valores de Fv/Fm fuesen similares entre tratamientos de riego. Estos resultados indicarían que la planta se encontraba en una condición fotosintética relativamente estable bajo un nivel de estrés hídrico moderado y por un periodo de corto plazo.

Figura 9. Fluorescencia de clorofila en plantas de arándanos bajo dos tratamientos de riego (Control: Plantas regadas a 100 % CC y Dry: Plantas bajo riego deficitario controlado).

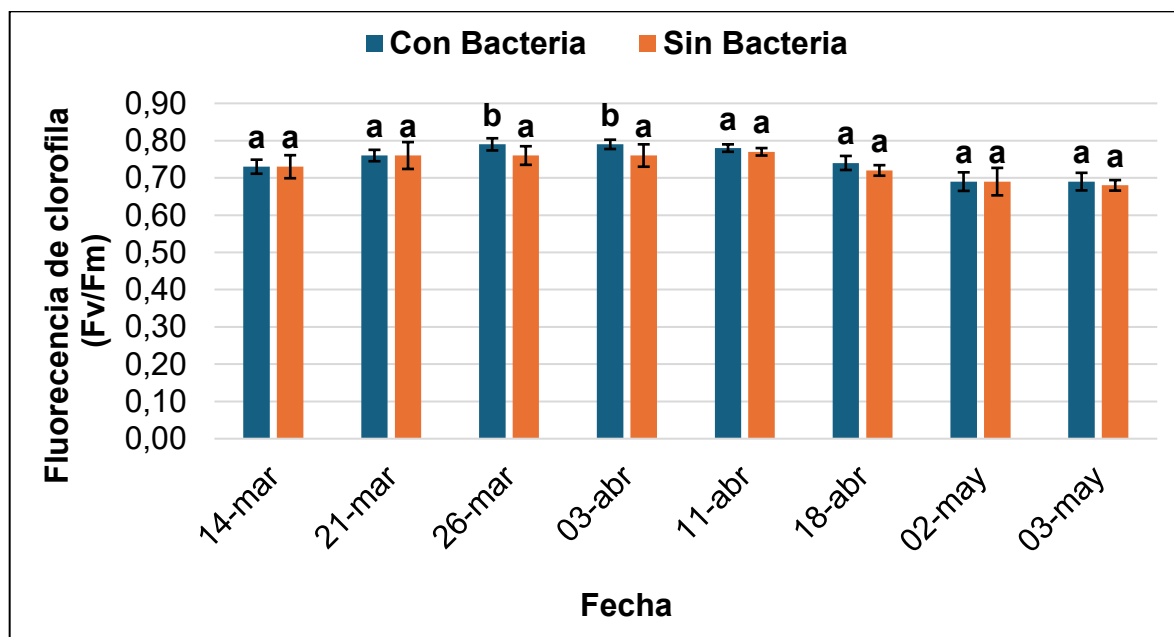


*Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas al 95% de confianza (DMS); N=3 ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

El máximo rendimiento cuántico del fotosistema II en hojas jóvenes y maduras de arándano suele estar cercano a 0,8 (Björkman y Demmig, 1989). Al analizar los datos, se encontró que el promedio para el tratamiento "Control" estuvo en 0,75 y para el tratamiento Dry en 0,73, lo cual representa valores de Fv/Fm muy cercanos del valor óptimo de 0,8. Esto quiere decir que a pesar de la importante restricción hídrica y las diferencias en SWP entre tratamientos de riego, el fotosistema II de las plantas no fue alterado y se mantuvo cerca de los valores máximos para arándanos (Calderón-Orellana *et al.*, 2023).

Tratamiento bacteria. El tratamiento con bacterias mostró diferencias significativas en Fv/Fm en momentos puntuales del ensayo. Por ejemplo, el 26 de marzo, al comparar los tratamientos "Con bacteria" y "Sin bacteria", se obtuvieron valores de 0,79 y 0,76, respectivamente. De manera similar, el 03 de abril se registraron los mismos valores, 0,79 y 0,76, para dichos tratamientos (Figura 10). Según Nemeskéri *et al.* (2022), plantas de tomate inoculadas con bacterias PGPR exhibieron un aumento de Fv/Fm durante el desarrollo de la planta.

Figura 10. Expresa la fluorescencia de clorofila en la hoja de arándano, con y sin inoculación con la bacteria *Pseudomonas koreensis* AG-97.



*Fluorescencia de clorofila (Fv/Fm) para el tratamiento bacteria. Separando entre ellas plantas que contienen la bacteria (color azul) y planta sin bacteria (color naranja). Letras diferentes tratamientos indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$). Barras de error del grafico representan al error estándar.

A excepción de las fechas 02 y 03 de mayo en donde la planta comenzó a desprender sus hojas entrando en un pleno estado de dormancia, por lo que su Fv/Fm comenzó a disminuir notablemente.

CONCLUSIONES

1. La inoculación con *Pseudomonas koreensis* redujo el estrés hídrico en plantas jóvenes de arándano, mostrando potenciales hídricos del tallo menos negativos en todas las fechas evaluadas, lo que indica una mayor capacidad para mantener el estado hídrico bajo condiciones de sequía.
2. El tratamiento con la bacteria mejoró el potencial hídrico del tallo, pero no afectó la conductancia estomática, probablemente por la entrada en endodormancia del cultivo, que limita respuestas fisiológicas como la apertura estomática durante el otoño.
3. El sustrato inoculado con bacterias retuvo más humedad que el sustrato sin inocular, favoreciendo la recuperación hídrica de las plantas después de un periodo sin riego, con diferencias significativas de hasta 17 % en contenido de agua del suelo.

REFERENCIAS

1. Arevalo, J. 2023. Inoculación de compost con bacterias benéficas: efecto en el crecimiento de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) y en su tolerancia al déficit hídrico. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán.
2. Artacho, V. P., D. C. Contreras y P. G. Cocio. 2023. Chile, desafíos para la producción de arándanos frescos: Trabajo conjunto entre la industria y centros de investigación [en línea]. Simfruit, Santiago, Chile. <<https://www.simfruit.cl/desafios-para-produccion-de-arandanos-frescos-trabajo-conjunto-entre-la-industria-y-centros-de-investigacion/>>. [Consulta: 22 julio 2014].
3. Awang, Y., A.S. Shaharom, R.B. Mohamad and A. Selamat. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of celosia cristata. Am. J. Agric. Biol. Sci. 4(1): 63-71.

4. Bambach, N. E., Rhoades, A. M., Hatchett, B. J., Jones, A. D., Ullrich, P. A., & Zarzycki, C. M. (2022). Projecting climate change in South America using variable-resolution Community Earth System Model: An application to Chile. *International Journal of Climatology*, 42(4), 2514–2542.

5. Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*. 170:489–504.

6. Boisier, J. P., R. Rondanelli, R. Garreaud and F. Muñoz. 2018. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophys. Res. Lett.* 45(8): 3863-3871.

7. Calderón-Orellana, A. 2024. Manejo hídrico del arándano bajo cobertura. En: Bastías, R. M. (Ed.). *Producción y manejo de arándanos bajo cobertura*. p. 69-83. Editorial Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

8. Calderón-Orellana, A., N. Hermosilla and R. M. Bastías. 2023. Impact of the covering material on drought tolerance responses and soil water content in two cultivars of young blueberry plants under protected cultivation. *Water*. 15(13):2326.

9. Campbell Scientific, Inc. (2016). *CR300: Measurement and Control Datalogger*. Recuperado de <https://www.campbellsci.com/order/cr300>.

10. Cassan, F., D. Perrig, V. Sgroy, O. Masciarelli, C. Penna and V. Luna. 2009. *Azospirillum brasilense* Az 39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *Eur. J. Soil Biol.* 45(1):28-35.

11. Dagnino, S. J. 2014. Análisis de varianza [en línea]. *Revista Chilena de Anestesia*, Santiago, Chile <
<https://revistachilenadeanestesia.cl/P11/revchilanestv43n04.07.pdf>. >
 [Consulta: 22 julio 2014].

12. Decagon Devices. 2013. LP-80 PAR/LAI Ceptometer: Operator's manual [In line]. Versión 1.1. Washington, EE.UU. <
<https://www.labcell.com/media/84704/lp-80%20manual%20v11.pdf>. >
 [Consulta: 22 julio 2014].

13. Dianna Grabowski. 2024. Watering blueberry plants: An essential guide for home growers [In line]. The Fruit Grove. <<https://thefruitgrove.com/watering->

- blueberry-plants-an-essential-guide-for-home-growers/>. [Consulta: 22 julio 2014].
14. Estacio C. I. 2019. Identificación de especies fúngicas asociadas al decaimiento de plantas en el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) en la Región Ica y el valle de Cañete.
 15. Gayosso-Rodríguez, S., L. Borges-Gómez, E. Villanueva-Couoh, M. A. Estrada-Botello y R. Garruña. 2018. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*. 52(4):652.
 16. Guo, Q., C. Sun and Y. Jing. 2023. *Pseudomonas koreensis* culture filtrate alleviates tomato drought stress. *Plant Soil*. 484:237–256.
 17. Hermosilla, N. 2022. Influencia del material de cobertura en las respuestas de isodricidad y tolerancia a la sequía de plantas jóvenes de arándanos. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán.
 18. Howell, T. A. and D. A. Dusek. 1995. Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods-southern high plains. *J. Irrig. Drain. Eng.* 121(2):191-198.
 19. Infostat - Statistical Software [en línea]. s. f. Universidad de Córdoba, Córdoba, Argentina. < <https://www.infostat.com.ar/> >. [Consulta: 22 julio 2014].
 20. Iqbal R., A. Rao, E. Rasul, A. Wahid. 1996. Mathematical models and response functions in photosynthesis: an exponential model, In M Pessarakli, ed, *Handbook of photosynthesis*, Marcel Dekker Inc., New York.
 21. Keen, B. and P. Slavich. 2012. Comparison of irrigation scheduling strategies for achieving water use efficiency in highbush blueberry. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 40(1):3-20.
 22. Kelsey, T. F., W. Sun, Y. P. Shiga, J. Mao y A. M. Michalak. 2024. Evaluación multiescala de la balanza de carbono terrestre de América del Norte. *Biogeosciences*. 21(3):869-891.
 23. LabFerrer. 2022. Medida de la fluorescencia de la clorofila, Plant Stress Kit de ADC [en línea]. <<https://blog.biofisicaambiental.com/medida-de-la-fluorescencia-de-la-clorofila-plant-stress-kit-de-adc>>. [Consulta: 22 julio 2014].

24. McCutchan, H. and K. A. Shackel. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117(4):607-611.
25. McDermitt, D. K. 1990. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. *HortScience.* 25(12):1538-1548.
26. Montes Luna, M. 2012. Factores que favorecen el crecimiento bacteriano [en línea]. *Gestión Integra*. <[dhttps://gestionintegra.com/factores-que-favorecen-el-crecimiento-bacteriano/](https://gestionintegra.com/factores-que-favorecen-el-crecimiento-bacteriano/)>. [Consulta: 22 julio 2014].
27. Nemeskéri, E., K. Z. Horváth, B. Andryei, R. Ilahy, S. Takács, A. Neményi and L. Helyes. 2022. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria inoculation on the physiological response and productivity traits of field-grown tomatoes in Hungary. *Horticulturae.* 8(7):641.
28. Projar A. y L. Ferri, L. 2019. ¿Conoces las ventajas de la fibra de coco? Projar [en línea]. <<https://projar.es/conoces-las-ventajas-de-la-fibra-de-coco/>>. [Consulta: 22 julio 2014].
29. Rebolledo, C. (2013). *Manual de arándano: Capítulo 1, Establecimiento del arándano*. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu.
30. Retamales, J. and F. Hancock. 2012. Growth and development. In: *Blueberries. Crop Production Science in Horticulture Series N°21*. pp. 51-73. Oxfordshire, UK: CABI.
31. Reyes-Díaz, M., M. Alberdi y M. L. Mora. 2009. Short-term aluminum stress differentially affects the photochemical efficiency of photosystem II in highbush blueberry genotypes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 134(1):14-21.
32. Rho, H., D. Yu and S. Kim. 2012. Limitation factors for photosynthesis in 'Bluecrop' highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) leaves in response to moderate water stress. *J. Plant Biol.* 55: 450–457.
33. Saavedra de la Barra, C. M. 2008. Evaluación de mezclas de residuos orgánicos bioprocesados y otros materiales, para la propagación de arándano. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
34. Sicrómetro de precisión [en línea]. 2004. EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION. <

<http://www.finaltest.com.mx/v/vspfiles/assets/datasheet/RH390SPdata.pdf>>.
[Consulta: 22 julio 2014].

35. Vásquez, P. (2020). *Efecto del uso de malla sobre las condiciones hídricas y calidad de la fruta en plantas de arándano (Vaccinium corymbosum L.) cv. Legacy*. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán.
36. Vidrio, V.M., Percival, D.C. & Proctor, J.T.A. (2003). Influence of decreasing soil moisture on stem water potential, transpiration rate and carbon exchange rate of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 78(3): 359–364.
37. Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. & Sk, Z.A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 184: 13–24.
38. Yu, D.J., Rho, H., Kim, S.J. & Lee, H.J. (2015). Photosynthetic characteristics of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) leaves in response to water stress. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 90(5): 550–556.
39. Yu, Y.Y., Xu, J.D., Huang, T.X., Zhong, J., Yu, H., Qiu, J.P. & Guo, J.H. (2020). Combination of beneficial bacteria improves blueberry production and soil quality. *Food Science & Nutrition*, 8(11): 5776–5784.