



# 1

**Situación climática en la región del Maule, proyecciones a mediano plazo y consideraciones para la producción de arándanos**



Capítulo

1

## Capítulo 1

# Situación climática en la región del Maule, proyecciones a mediano plazo y consideraciones para la producción de arándanos

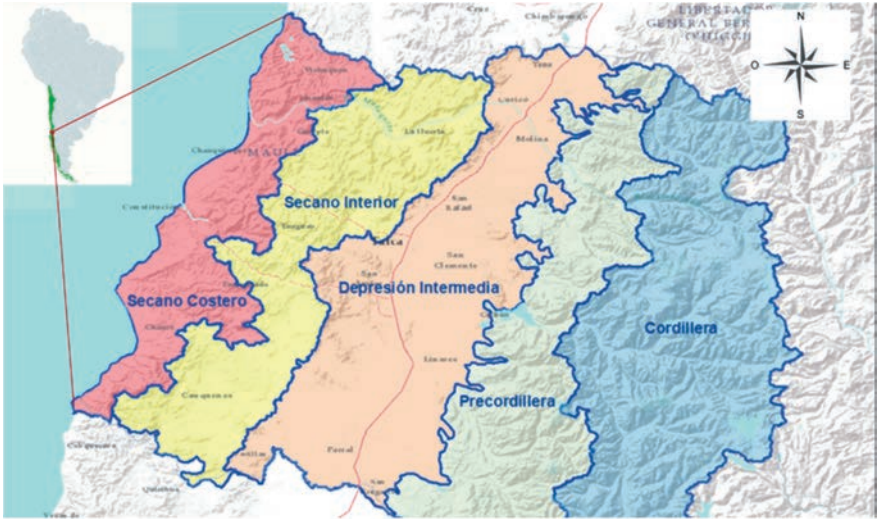
**Marcel Fuentes Bustamante**  
Ingeniero Civil Agrícola, M.Sc.

**Cristian Balbontín Sepúlveda**  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

**Marisol Reyes Muñoz**  
Ingeniera Agrónoma, Dra.

## 1.1 Situación actual de la región del Maule

La región del Maule, ubicada en la zona central de Chile, es muy diversa en términos de geografía y topografía, lo que resulta en una gran variedad de climas y ambientes. Hacia el Este se encuentra la Cordillera de los Andes (zona en azul en la Figura 1.1), la cual recibe la mayor cantidad de lluvias en invierno con un promedio anual de 1,552 mm y una temperatura media anual de 7.5°C, con mínimas anuales de 2.0°C. Al Oeste de la Cordillera de los Andes se encuentra la Precordillera (zona verde en Figura 1.1), con una precipitación promedio anual de 1,545 mm y una temperatura media anual de 11.4°C. La Depresión Intermedia (zona anaranjada en Figura 1.1) se encuentra entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, con importantes valles agrícolas y ganaderos, cuya precipitación promedio anual es de 816.9 mm con una temperatura media de 14.3°C. El Secano Interior (zona en amarillo) se caracteriza por una precipitación promedio anual de 758.3 mm y temperaturas promedio de 14.1°C, mientras que el Secano Costero tiene una precipitación promedio anual de 836.2 mm y una temperatura promedio anual de 13.3°C. La Figura 1.1, muestra la distribución espacial de estas distintas áreas homogéneas ambientales en la región del Maule.

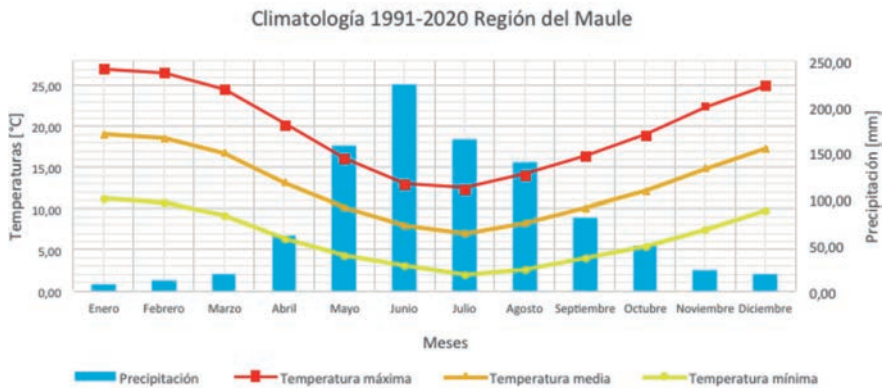


**Figura 1.1.** Zonas Homogéneas Ambientales de la región del Maule.

El análisis de los datos grillados del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia muestra la climatología de referencia más reciente, 1991–2020. La temperatura media anual para la región de Maule es de 12.5°C, con temperaturas medias mensuales que oscilan entre 19.09 °C en el mes de enero y 7.19°C en Julio. La precipitación media anual es de 950.63 mm, con precipitaciones durante todo el año, siendo junio el mes más lluvioso con un máximo promedio de 225.27 mm (Tabla 1.1; Figura 1.2).

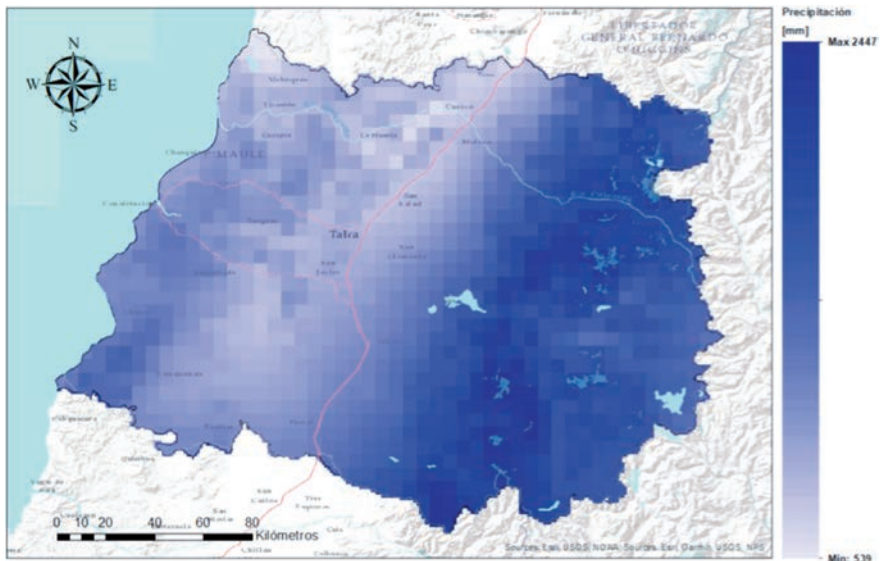
**Tabla 1.1.** Temperaturas y precipitaciones medias anuales de la región del Maule.

Variable climática	1991-2020	Unidad
Precipitación acumulada media anual	950.63	mm
Temperatura máxima anual	19.05	°C
Temperatura media anual	12.50	°C
Temperatura mínima anual	5.96	°C

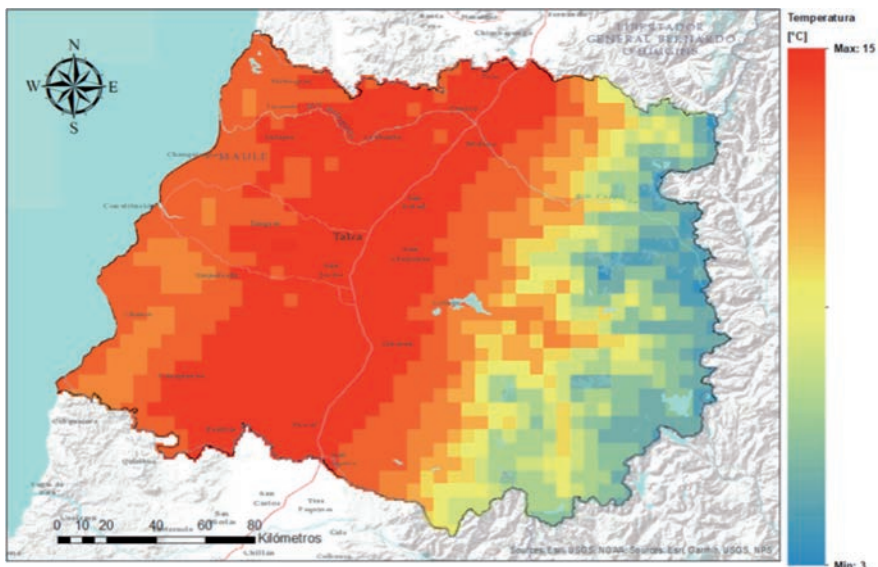


**Figura 1.2.** Promedio mensual de temperaturas y lluvia en la región del Maule para el periodo 1991-2020.

La Figura 1.3 ilustra la variación espacial de la precipitación, mostrando un patrón descendiente de Este a Oeste. Por otro lado, la Figura 1.4 presenta la distribución de las temperaturas en la región, con valores más altos en el centro de la misma.



**Figura 1.3.** Mapa de precipitación acumulada promedio anual para la región del Maule, 1991-2020.



**Figura 1.4.** Mapa de temperaturas promedio anual para la región del Maule, 1991-2020.

## 1.2 Proyecciones climáticas en la región del Maule

La fuente de datos utilizada en este documento para obtener las proyecciones climáticas es la plataforma ARClim<sup>1</sup>, que es el principal producto del proyecto ARClim (Atlas de Riesgo Climático para Chile). Esta información está basada en las proyecciones del cambio climático global presentadas en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El proyecto ARClim incorpora proyecciones climáticas históricas (período 1980-2010) y futuras (período multidecadal de 30 años, centrado en 2050, bajo un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero, RCP8.5<sup>2</sup>).

<sup>1</sup> <https://arclim.mma.gob.cl/>

<sup>2</sup> Es un escenario de emisiones que describe un futuro en el que no se toman medidas significativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, se produce un aumento significativo de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

## Temperatura

Las proyecciones de temperatura bajo escenarios de cambio climático son de gran importancia para la agricultura, ya que la temperatura es uno de los principales factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las proyecciones de temperatura permiten entender cómo se espera que las condiciones climáticas cambien en el futuro y cómo esto puede afectar la producción de alimentos (Lobell & Burke, 2008).

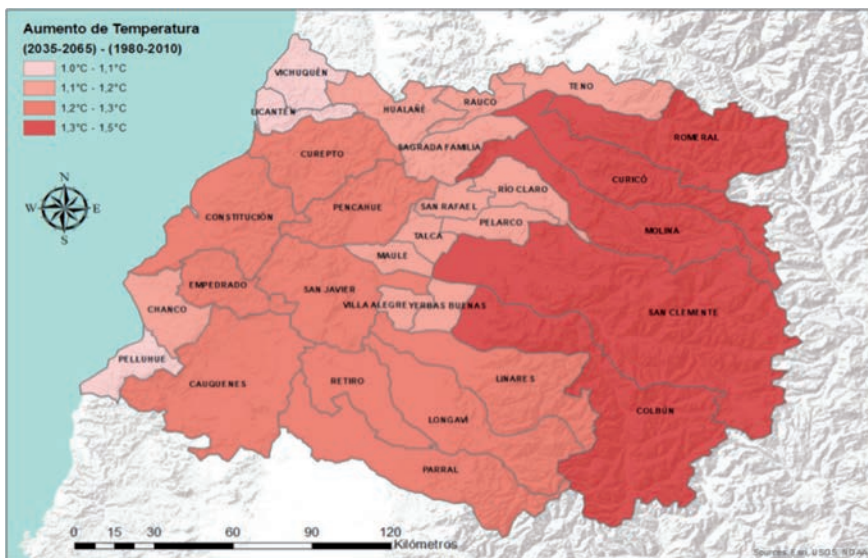
De acuerdo con el multi modelo CMIP5<sup>3</sup>, que ensambla 32 modelos de Circulación Global (GCMs), las proyecciones de temperatura en un escenario RCP8.5 en la región del Maule para el período 2035-2065, muestra un aumento de temperatura para todos los meses del año respecto al período histórico (1980-2010) con un aumento promedio anual de 1.22°C para toda la región (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2.** Diferencia de temperatura mensual para el periodo 2035-2065 y el histórico para las proyecciones del ensamble de modelos CMIP5 bajo un escenario RCP8.5 para la región del Maule.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1.23°C	1.31°C	1.35°C	1.26°C	1.16°C	1.06°C	1.08°C	1.23°C	1.15°C	1.21°C	1.28°C	1.30°C	1.22°C

En la Figura 1.5 se muestra un mapa que presenta el aumento proyectado de temperatura por comuna. Las proyecciones indican que todas las comunas de la región experimentarían un aumento de más de 1°C en sus temperaturas, y que las comunas ubicadas en la cordillera serían las que presentarían un mayor aumento.

<sup>3</sup> Proyecto de Inter comparación de modelos acoplados (<https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/>).



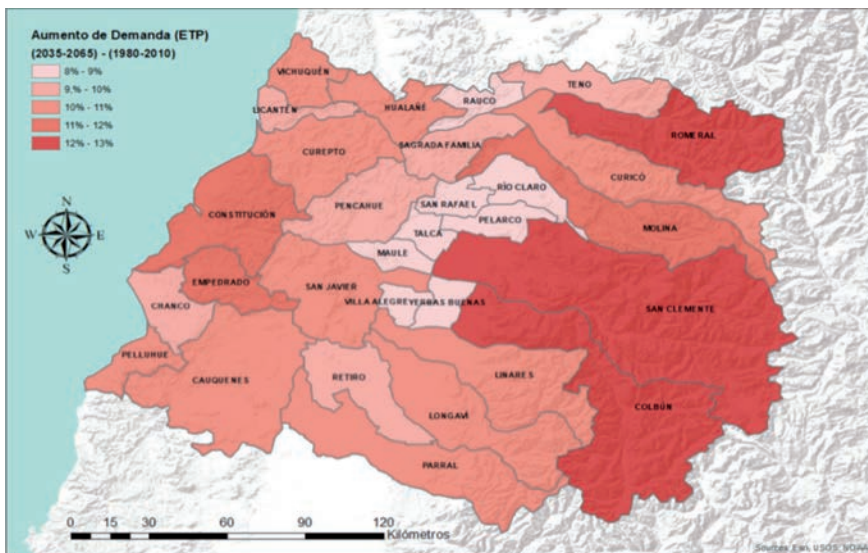
**Figura 1.5.** Mapa de diferencia de temperatura promedio anual por comuna de la región del Maule, de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de ensamble de modelos CMIP5, bajo un escenario RCP8.5.

## Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial (ETP) es un elemento importante en el ciclo del agua que integra las demandas atmosféricas y las condiciones de la superficie, y el análisis de los cambios en ETP es de gran importancia para comprender el cambio climático y sus impactos en la hidrología. Dado que ETP es un efecto integrado de las variables climáticas, los aumentos en la temperatura del aire deberían conducir a aumentos en la ETP (Jaafar & Ahmad, 2019).

Según las proyecciones del ensamble de modelos CMIP5 en un escenario RCP8.5 de ETP en la región del Maule, para el período 2035-2065 se espera un aumento del 8% al 13% en la ETP respecto a la condición histórica, donde al igual que en el caso de las proyecciones de temperaturas el mayor aumento se produce en las comunas cordilleras de la región (Figura 1.6).



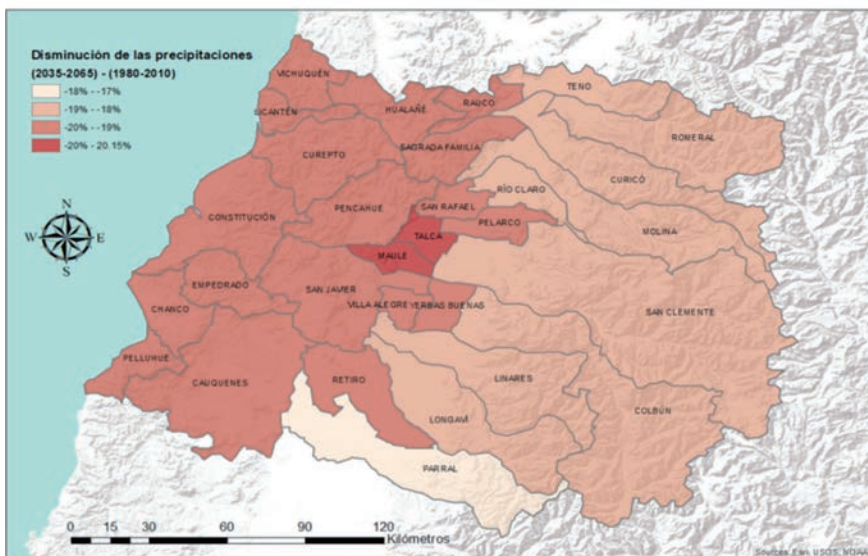


**Figura 1.6.** Mapa de diferencia de ETP en porcentaje del promedio anual por comuna de la región del Maule de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de ensamble de modelos CMIP5, bajo un escenario RCP8.5.

## Precipitaciones

Cada vez hay más investigaciones que indican que el cambio climático afectaría tanto el momento, la intensidad y la variabilidad intra estacional de las precipitaciones, lo cual podría afectar fuertemente la producción agrícola (Shortridge, 2019).

Las proyecciones de los ensambles de modelos CMIP5 bajo el escenario RCP8.5 indican una preocupante disminución de las precipitaciones en la región del Maule durante el período 2035-2065 en comparación con las condiciones históricas (1980-2010). De acuerdo con estas proyecciones, se espera que la región experimente una disminución del 19% en las precipitaciones, como se puede observar en la Figura 1.7.



**Figura 1.7.** Mapa de diferencia de precipitaciones en porcentaje del promedio anual por comuna de la región del Maule de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de los ensambles de modelos CMIP5, bajo un escenario RPCP8.5.

En vista de las alarmantes proyecciones de aumento de temperatura, disminución de las precipitaciones y aumento de la Evapotranspiración Potencial en la región del Maule, es imprescindible que se tomen medidas urgentes de adaptación y gestión del recurso hídrico para enfrentar los efectos del cambio climático en la región. Se requiere de una planificación estratégica y acciones concretas para garantizar la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la población en el futuro. La prevención y la acción temprana son claves para minimizar los efectos del cambio climático en la región y asegurar un futuro más resiliente para la agricultura.

## 1.3 Requerimientos climáticos del arándano

Las proyecciones climáticas presentadas en el capítulo anterior pueden tener un impacto significativo en la producción de arándanos en la región del Maule. Tanto el aumento de las temperaturas como la disminución de las precipitaciones podrían influir de manera negativa en el rendimiento y calidad del cultivo.

Es importante tener en cuenta que los arándanos, que pertenecen a la familia Ericáceas y al género *Vaccinium*, al igual que otros berries nativos de Norteamérica, requieren suelos ácidos con buen drenaje y un alto contenido de materia orgánica. Estas plantas se desarrollan mejor en climas de características templadas, con un patrón de temperatura estacional bien definido, inviernos que permitan la acumulación de frío necesaria para completar las horas de frío y primaveras con temperaturas moderadas, ausencia de heladas durante la floración y veranos sin extremos de calor.

A lo largo de la historia reciente, diversos programas de mejoramiento genético han desarrollado diferentes variedades de arándanos que pueden adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas. Sin embargo, de manera general, se pueden distinguir tres grupos de arándanos según su origen y requerimientos climáticos:

Cultivares del tipo **Rabbiteye** (ojo de conejo) son variedades desarrolladas en Georgia, EEUU, región caracterizada por veranos húmedos y cálidos con temperaturas medias cercanas a los 24°C e inviernos suaves, con temperaturas medias de 6°C. Las variedades de este grupo son productivas y fáciles de cultivar, se desarrollan en una gran diversidad de suelos, pudiendo presentar una buena tolerancia a condiciones de menor suministro hídrico. Sin embargo, estas variedades pueden no ser adecuadas para el transporte debido a que son blandas y tienen floraciones prolongadas, siendo mayormente destinadas a la industria de congelado o proceso. Variedades dentro de este grupo son Brightwell, Tifblue, Ochlockonee.

Cultivares del grupo **Northern Highbush** se adaptan a climas templados y fríos. Requieren un período de frío invernal de al menos 1000 horas con temperaturas por debajo de los 7°C para superar la latencia invernal y florecer adecuadamente en primavera. Además, éstas necesitan un clima cálido en verano, con temperaturas diurnas que oscilen entre los 20 y 30°C, para lograr un buen crecimiento y maduración de la fruta. También requieren una buena disponibilidad

de agua, aunque prefieren suelos bien drenados y ácidos (pH de 4.5 a 5.5). Variedades conocidas en Chile de este grupo son Duke, Blue Ribbon, Top Shelf, Brigitta.

Cultivares del grupo **Southern highbush** han sido desarrollados a partir de la hibridación entre arándano alto, arándano siempre verde y arándano ojo de conejo. Tienen un menor requerimiento de frío invernal y más tolerancia al calor, aunque presentan dificultades para su cultivo debido a su bajo vigor y alta mortalidad en suelos con limitaciones de profundidad. Estos arándanos tienen un calibre más alto, están destinados al mercado fresco con cosecha manual y requieren entre 200 y 600 horas de frío con temperaturas bajo los 7°C. Variedades conocidas de este grupo son Jewel, Star, Emerald, O´neal, Biloxi y Legacy entre otras.

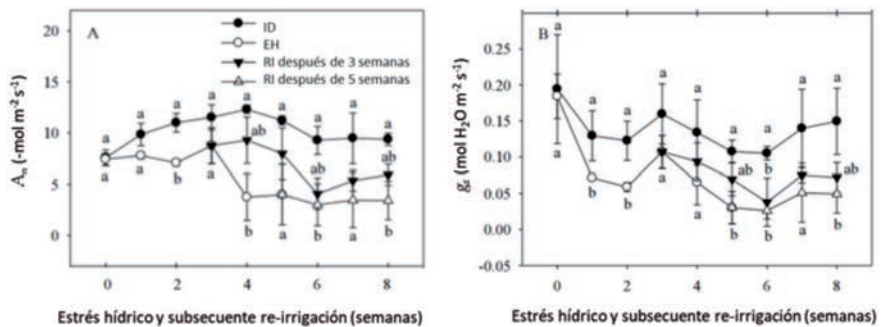
Además, se debe considerar que los arándanos crecen y fructifican mejor dentro de un rango de temperatura específico, el cual dependerá del estado fenológico y las características propias de la variedad. La diferenciación más importante es la cantidad de horas frío que los distintos grupos de cultivares necesitan para superar el letargo invernal. Después de la brotación no existe ninguna variedad que se desarrolle bien con climas excesivamente cálidos y baja disponibilidad de agua. Durante la primera etapa de crecimiento vegetativo las temperaturas entre 15 y 21°C son óptimas para desarrollar follaje y raíces saludables que permitan sustentar la producción de flores y frutas. La floración, la polinización y cuaja pueden requerir de temperaturas ligeramente más frescas, entre los 10 y 15°C (Lobos y Hancock, 2015). Finalmente, en la etapa de desarrollo y maduración de la fruta se requieren temperaturas entre 21 y 29°C para promover la síntesis de antocianinas y azúcares en los frutos, sin embargo, temperaturas por encima de los 32°C pueden disminuir la calidad de frutos o provocar la abscisión de éstos (Mainland et al., 1977).

## 1.4 Efectos del estrés hídrico en arándanos

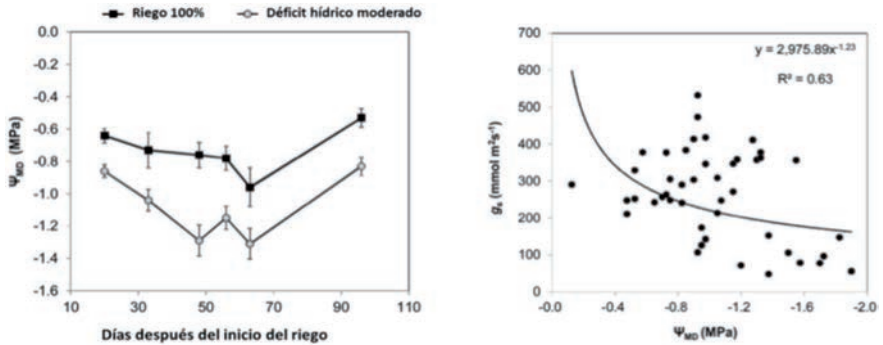
Junto a la temperatura, el estado hídrico de la planta de arándano es esencial para asegurar una producción rentable con frutos de alta calidad. El agua es un componente crítico de la fisiología de las plantas y desempeña funciones claves en muchos procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes, refrigeración y la transpiración.

Por su sistema de raíces fibrosas y poco profundas, las plantas de arándano son especialmente sensibles al estrés hídrico, condición que puede producirse cuando el agua disponible para las raíces es insuficiente para satisfacer sus requerimientos metabólicos (Gough, 1994). Sin embargo, incluso déficits menores de agua pueden afectar negativamente el desarrollo de los frutos (Mingeau, et al., 2001, Améglío et al., 2000).

Diferentes investigaciones indican que la sequía disminuye la tasa fotosintética de los arándanos y otras plantas. Por ejemplo, Yu et al., (2015) encontraron que la tasa fotosintética de los arándanos disminuyó en respuesta a la sequía y que esta disminución fue más pronunciada cuanto más duró el periodo de restricción hídrica (Figura 1.8). De igual forma, Hao et al., (2019) encontraron que la tasa fotosintética de los arándanos cambia en respuesta a las altas temperaturas y que algunos cultivares más tolerantes al estrés térmico pueden modular la dispersión del calor al regular los rasgos estomáticos, protegiendo la estructura y función de los cloroplastos. Estos hallazgos sugieren que la sequía disminuye la tasa fotosintética de los arándanos y que el efecto es más pronunciado con sequías más largas.



**Figura 1.8.** Cambios en la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub>, asimilación (An, fig. A) y conductancia estomática (g<sub>s</sub>, fig. B) en hojas de plantas de arándano de arbusto alto "Bluecrop", durante 3 o 5 semanas de estrés hídrico y subsecuente re-irrigación después de 8 semanas. ID irrigación diaria; EH estrés hídrico; RI re irrigación. Los valores corresponden al promedio ± EE de tres repeticiones. Símbolos con la misma letra minúscula en cada fecha de muestreo (semana) no tuvieron diferencias significativas según la prueba de Duncan's, p ≤ 0,05. (Adaptado de Yu et al., 2015).



**Figura 1.9.** Potencial hídrico de hojas al medio día ( $\Psi_{MD}$ ) y conductancia estomática ( $g_s$ ) en función del potencial hídrico de plantas de arándanos (var. Legacy) totalmente regadas (100% de la evapotranspiración del cultivo, ETC) y plantas con déficit hídrico moderado (60% de ETC) provenientes de macetas experimentales, y de plantas comerciales cultivadas en campo bajo riego completo (100% ETC). Se muestran valores promedio  $\pm$  error estándar (SE). Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). (Adaptado de Ribera-Fonseca et al., 2019).

El comportamiento fotosintético ante las condiciones de estrés está muy relacionado con la función estomática y el potencial hídrico de la planta. El equilibrio hídrico de las plantas se mantiene mediante el transporte de agua desde el suelo hasta las raíces, a través del tallo y fuera de las hojas a través de los estomas. En condiciones normales, las plantas mantienen un equilibrio hídrico a través de un proceso llamado potencial hídrico, que describe la capacidad del agua para moverse de un lugar a otro en función de las diferencias en la concentración de agua. Al respecto, diferentes artículos sugieren que el estrés por sequía afecta los estomas de varias maneras, según la especie de planta y la presencia de algunas hormonas. Por ejemplo, en trigo se ha determinado que la falta de agua puede alterar la longitud de los estomas y el área de las superficies superior e inferior de las hojas bandera de la planta (Mehri et al., 2009), mientras que Sarwat y Tujeda (2017) indican que en varias especies, la señal hormonal más importante para controlar los estomas durante el estrés por sequía es el ácido abscísico, aunque no se descarta que otras fitohormonas también pueden estar involucradas en la respuesta estomática al estrés (Daszkowska-Golec, 2013). En arándanos se ha determinado que el riego deficitario afecta negativamente la conductancia estomática de las hojas y disminuye el potencial hídrico (Figura 1.9) desde valores generales de  $-0,8$  MPa en plantas bien regadas y de  $-1,2$  MPa para plantas con restricciones hídricas del 60% de la ETC (Ribera-Fonseca et al., 2019).

La severidad y duración del estrés hídrico pueden tener diferentes efectos en el crecimiento y el rendimiento de los arándanos, según la etapa de crecimiento de la planta y el grado de estrés. Por ejemplo, el estrés hídrico durante la etapa vegetativa puede reducir significativamente el crecimiento de los brotes y el área foliar, mientras que el estrés hídrico durante la etapa de fructificación puede provocar una reducción del cuajado de frutos, menor calibre y una disminución del rendimiento (Mingeau., 2001). Asimismo, Almutairi et al., (2021) encontraron que el déficit de agua puede reducir el peso de las bayas y el rendimiento en algunos cultivares, siendo más perjudicial durante las últimas etapas del desarrollo de la fruta, particularmente en los cultivares de temporada media y tardía, que maduran durante los meses más cálidos y secos del año, sin embargo Lobos et al (2016) informan que es posible reducir un 25% del suministro hídrico sin afectar significativamente la calidad de los frutos, lo que sugiere que estos efectos dependerán de las condiciones de cultivo e intensidad del estrés.

## **1.5 Consideraciones finales**

Las proyecciones climáticas a mediano plazo para la región del Maule presentan un desafío significativo para los productores locales de arándanos, debido al aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones. Estas condiciones climáticas adversas se suman a la sensibilidad de las plantas de arándano a altas temperaturas y a la escasez de agua.

En este sentido, es fundamental considerar que los requerimientos hídricos de los arándanos están influenciados por diversos factores, como la variedad, el estado fenológico, el sistema de cultivo y las condiciones medioambientales. Dado que constantemente se introducen nuevas variedades en diferentes áreas geográficas en nuestro país, es esencial evaluar estos requisitos en cada situación específica. Esto permitirá establecer regímenes hídricos adecuados que fomenten una producción sostenible y la obtención de frutos de alta calidad. Además, es posible explorar el uso de inductores hormonales como una estrategia para mejorar la tolerancia a la sequía y potenciar la calidad de los frutos. Esta área de investigación tiene una amplia aplicación en diversos cultivos que necesitan adaptarse a las condiciones cambiantes derivadas del cambio climático. En los siguientes capítulos, se abordará el impacto del ácido abscísico y el metil jasmonato en aspectos cruciales, como el metabolismo fotosintético y la calidad de los frutos, especialmente en situaciones de escasez de agua.

## 1.6 Referencias

- Almutairi, K.F., Bryla, D.R., & Strik, B.C. (2021).** Sensitivity of Northern Highbush Blueberry Cultivars to Soil Water Deficits during Various Stages of Fruit Development. *HortScience*.
- Améglio T., Roux X. L., Mingeau M., Perrier C. (2000).** Water relations of highbush blueberry under drought conditions. *Acta Hortic.* 537, 273–278. [10.17660/actahortic.2000.537.30](https://doi.org/10.17660/actahortic.2000.537.30)
- Climate Change 2014:** Synthesis Report to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by The Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. Meyer (accessible en version sin editar en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_SPMcorr1.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf)).
- Daszkowska-Golec, A., & Szarejko, I. (2013).** Open or Close the Gate – Stomata Action Under the Control of Phytohormones in Drought Stress Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 4.
- Gough R. E. (1994).** The Highbush Blueberry and its Management. Binghamton, NY: Food Product Press an Imprint of the Haworth Press, Inc.
- Hao, L., Guo, L., Li, R., Cheng, Y., Huang, L., Zhou, H., Xu, M., Li, F., Zhang, X., & Zheng, Y. (2019).** Responses of photosynthesis to high temperature stress associated with changes in leaf structure and biochemistry of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae*.
- Jaafar, H. H., & Ahmad, F. A. (2019).** Time series trends of Landsat-based ET using automated calibration in METRIC and SEBAL: The Bekaa Valley, Lebanon. *Remote Sensing of Environment*, (April 2018), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.033>
- Lobell, D. B., & Burke, M. B. (2008).** Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? the importance of temperature relative to precipitation. *Environmental Research Letters*, 3(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/3/034007>
- Lobos, G. A., & Hancock, J. F. (2015).** Breeding blueberries for a changing global environment: a review. *Frontiers in plant science*, 6, 782. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00782>



- Lobos, Tomás E. et al. (2016):** "Pre-harvest regulated deficit irrigation management effects on post-harvest quality and condition of *V. corymbosum* fruits cv. Brigitta." *Scientia Horticulturae* 207 152-159.
- Mainland C. M., Buchanan D. W., Bartholic J. F. (1977).** The effects of five chilling regimes on bud break of highbush (*Vaccinium corymbosum* L.) and rabbiteye (*V. ashei* Reade) blueberry hardwood cuttings. *HortScience* 12, 411.
- Mehri, N., Fotovat, R., Saba, J., & Jabbari, F. (2009).** Variation of stomata dimensions and densities in tolerant and susceptible wheat cultivars under drought stress. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7(1), 167-170.
- Mingeau, M., Perrier, C., & Améglio, T. (2001).** Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. *Scientia Horticulturae*, 89, 23-40.
- Ribera-Fonseca, A., Jorquera-Fontena, E., Castro, M., Acevedo, P., Parra, J.C., & Reyes-Díaz, M.M. (2019).** Exploring VIS/NIR reflectance indices for the estimation of water status in highbush blueberry plants grown under full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*.
- Sarwat, M., & Tuteja, N.K. (2017).** Hormonal signaling to control stomatal movement during drought stress. *Plant Gene*, 11, 143-153.
- Shortridge, J. (2019).** Observed trends in daily rainfall variability result in more severe climate change impacts to agriculture. *Climatic Change*, 157(3-4), 429-444. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02555-x>
- 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 and subsequent re-irrigation. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90, 550 - 556.