Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Uso de inductores hormonales para incrementar la tolerancia a sequía y calidad de frutos en arándano

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / Nº 484

ISSN 0717-4829

Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

GOBIERNO REGIONAL DEL MAULE

MIP AGRO
INSUMOS CERO RESIDUO

Uso de inductores hormonales para incrementar la tolerancia a sequía y calidad de frutos en arándano

Editores:
Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias, INIA Quilamapu

Marisol Reyes Muñoz
Ingeniera Agrónoma, Doctora en Ciencias, INIA Raihuén

Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INIA Raihuén

Editores:
Cristian Balbontín Sepúlveda, Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias,
INIA Quilamapu

Marisol Reyes Muñoz, Ingeniera Agrónoma, Doctora en Ciencias,
INIA Raihuén

Comité Editor:
Irina Díaz Gálvez, Ingeniera Agrónoma, M.Sc.
Carolina Salazar Parra, Bióloga Ambiental, Dra.
Rafael López-Olivari, Ingeniero Agrónomo, Dr.
Iverly Romero Mendoza, Ingeniera Agrónomo, M.Sc.
Edgard Álvarez Rivera, Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
Raul Orrego Verdugo, Ingeniero en Recursos Naturales, Dr.

Directora Regional INIA Raihuén:
Carmen Gloria Morales Alcayaga, Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Boletín INIA: 484
ISSN: 0717-4829

Cita bibliográfica correcta:
Balbontín, C. y Reyes M. (eds.) (2023). Uso de inductores hormonales para incrementar la tolerancia a sequía y calidad de frutos en arándano. Boletín INIA Nº 484. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Raihuén. Chillan, Chile. 88 p.

©2023. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación INIA Raihuén, Avenida Esperanza s/n, Villa Alegre. Región del Maule. Teléfono: (56) 732382360.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y/o autores.

Diseño y diagramación: Ricardo González Toro, Diseñador gráfico.
Impresor: TRAMA Impresores S.A.
Cantidad de ejemplares: 500.

Villa Alegre, Chile, 2023.

Agradecimientos

Estimados colaboradores y equipo de trabajo:

Nos complace compartir con ustedes el boletín correspondiente al proyecto "Desarrollo de un producto para incrementar la tolerancia al estrés hídrico y calidad organoléptica de los frutos de arándanos mediante el uso de inductores hormonales y nutricionales". Este proyecto ha sido financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC), bajo el Código BIP 40.001.062, del Gobierno Regional del Maule.

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento por el gran apoyo brindado por los productores involucrados en este proyecto, en particular, nos gustaría destacar la invaluable contribución de don José Cancino Contreras, productor de arándanos del sector de Los Robles de la comuna de Retiro. Su participación y compromiso han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

Agradecemos también a todos los colaboradores y al equipo de trabajo por su dedicación y compromiso con este proyecto: estudiantes y alumnos que realizaron su práctica en nuestro laboratorio, Juan Hirzel, investigador en nutrición y fertilidad, junto a Hamil Uribe, especialista en riego, ambos de INIA Quilamapu, Marisol Reyes, fisióloga vegetal de INIA Raihuén, Victoria Urrutia, ingeniera en biotecnología y asistente principal de investigación, y tantos otros colegas que desinteresadamente apoyaron desde el inicio este trabajo. Sus consejos, ayuda y dedicación han sido fundamentales.

Agradecemos a MIP Agro por creer en nuestra labor investigativa y por trabajar con nosotros para desarrollar soluciones cero residuos que beneficien a los agricultores y contribuyan a enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático. Valoramos enormemente esta colaboración y esperamos seguir fortaleciendo nuestra alianza para continuar brindando productos y soluciones innovadoras que impulsen la agricultura sostenible en nuestra región.

Cristian Balbontín Sepúlveda
Investigador INIA Quilamapu

Listado de Autores

Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Quilamapu
cristian.balbontin@inia.cl

Marcel Fuentes Bustamante
Ingeniero Civil Agrícola, M.Sc.
INIA Quilamapu
marcel.fuentes@inia.cl

Juan Hirzel Campos
Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Quilamapu
jhirzel@inia.cl

Marisol Reyes Muñoz
Ingeniera Agrónoma, Dra.
mreyes@inia.cl

Hamil Uribe Cifuentes
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
huribe@inia.cl

Victoria Urrutia Moya
Ingeniera en Biotecnología
INIA Quilamapu
victourrutiam@gmail.com

Carolina Salazar Parra
Bióloga Ambiental Dra.
INIA La Platina
carolina.salazar@inia.cl

Rafael López-Olivari
Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Carillanca
rafael.lopez@inia.cl

Índice

Agradecimientos 3

Prólogo 8

Capítulo 1 11
Situación climática en la región del Maule, proyecciones a mediano plazo y consideraciones para la producción de arándanos
Marcel Fuentes Bustamante, Cristián Balbontín Sepúlveda y Marisol Reyes Muñoz

Capítulo 2 29
Respuestas fisiológicas a diferentes dosis de reposición hídrica y formulaciones de abscísico y metil jasmonato
Marisol Reyes Muñoz, Cristian Balbontín Sepúlveda, Hamil Uribe Cifuentes y Victoria Urrutia Moya

Capítulo 3 47
Mejoramiento de la calidad de frutos en arándano mediante el uso de inductores hormonales en condiciones de restricción hídrica
Cristian Balbontín Sepúlveda, Juan Hirzel Campos y Victoria Urrutia Moya

Capítulo 4 65
Efecto de inductores hormonales en la calidad de frutos en arándano durante la postcosecha
Cristian Balbontín Sepúlveda, Juan Hirzel Campos y Victoria Urrutia Moya

Capítulo 5 83
Incremento de la tolerancia al déficit hídrico y mejoramiento de la calidad de arándanos mediante inductores hormonales y nutricionales en la región del Maule: consideraciones finales
Rafael López-Olivari, Carolina Salazar Parra, Cristian Balbontín Sepúlveda y Victoria Urrutia Moya

Prólogo

La región del Maule se ha destacado como una de las principales zonas productoras de arándanos en nuestro país, con más de 5.000 hectáreas dedicadas a este cultivo. Si bien la región ha tenido un importante desarrollo a nivel tecnológico, aún existen desafíos a los que se enfrentan los agricultores. Por otra parte, la comercialización del arándano es una actividad altamente competitiva, que nos obliga como actores del ámbito agrícola a ser eficientes y disminuir los factores de riesgo productivos. En el escenario climático actual en que tenemos escasez de precipitaciones como consecuencia del cambio climático, la producción de arándanos de calidad y de alto valor comercial depende en gran medida de la estrategia que nos permita mitigar los factores abióticos que condicionan la oportunidad que nuestra fruta tiene en los mercados internacionales.

Incrementar la tolerancia de las plantas de arándanos a condiciones restrictivas de suministro hídrico y mejorar la calidad y condición de los frutos ha sido una de las directrices del trabajo que INIA ha desarrollado. Sabemos que es necesario adaptarse a las nuevas condiciones ambientales y encontrar soluciones innovadoras que permitan a los agricultores enfrentar estos desafíos.

Esta investigación, que ha sido desarrollada en la región del Maule, ha contado con el apoyo del Gobierno Regional para generar un producto innovador que combina inductores hormonales y nutricionales específicos para aumentar la tolerancia al estrés hídrico, mejorando la calidad de los frutos de arándanos y reducir el desarrollo de enfermedades durante el almacenaje, mejorando su condición de post cosecha.

Como parte de nuestro compromiso con la transferencia de conocimiento, los resultados de la investigación que se ha realizado quedan plasmados en el presente documento, el que además es el resultado de una trayectoria en investigación y desarrollo de los profesionales que con su expertis técnica han obtenido resultados que aportan al crecimiento y mejoramiento del rubro arándanos en nuestro país.

La labor de INIA es seguir investigando y desarrollando soluciones que ayuden a los agricultores a enfrentar los cambios en el entorno que son muchos y diversos y que generan dinámicas en la interacción entre la planta, el suelo, clima y el manejo que hacen los productores, y cuyo resultado positivo permite que la fruta que se produce sea competitiva en el mercado.

Agradezco nuevamente a todos los colaboradores y a los autores de este boletín por su dedicación y compromiso con la investigación. Sin su valiosa contribución, así como la del Gobierno Regional del Maule, la creación de esta publicación no hubiese sido posible.

Irina Díaz Gálvez
Subdirectora Regional de I+D+i

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.

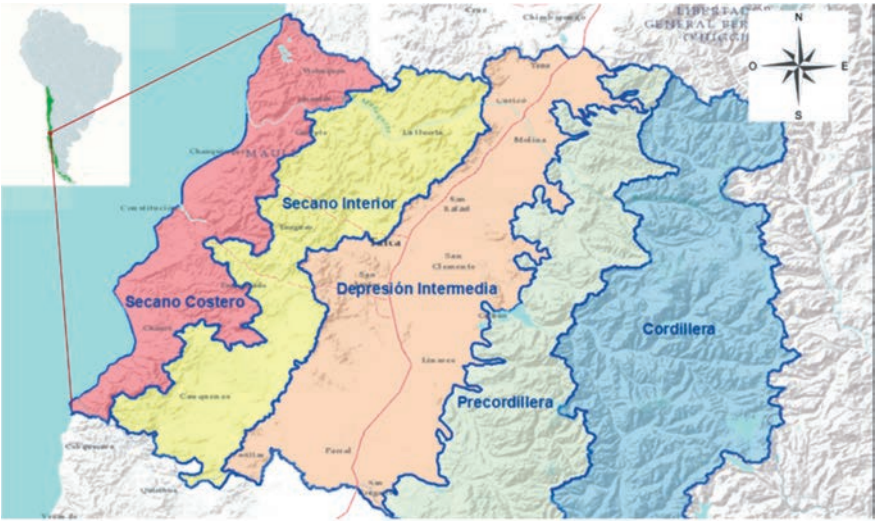


Figura 1.1. Zonas Homogéneas Ambientales de la región del Maule.

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

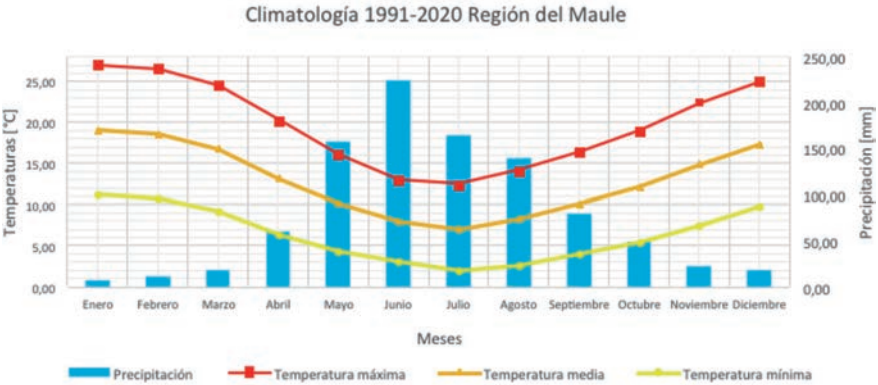


Figura 1.2. Promedio mensual de temperaturas y lluvia en la región del Maule para el periodo 1991–2020.

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.

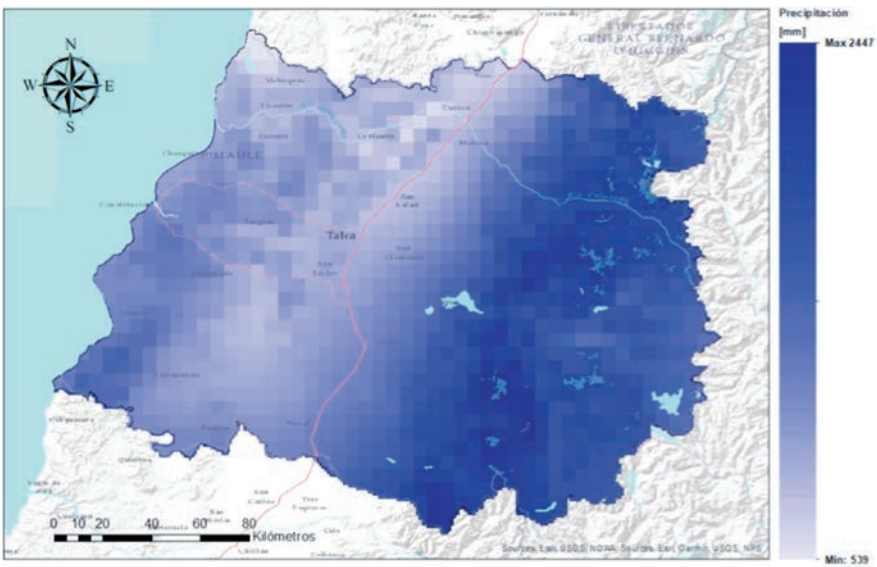


Figura 1.3. Mapa de precipitación acumulada promedio anual para la región del Maule, 1991–2020.

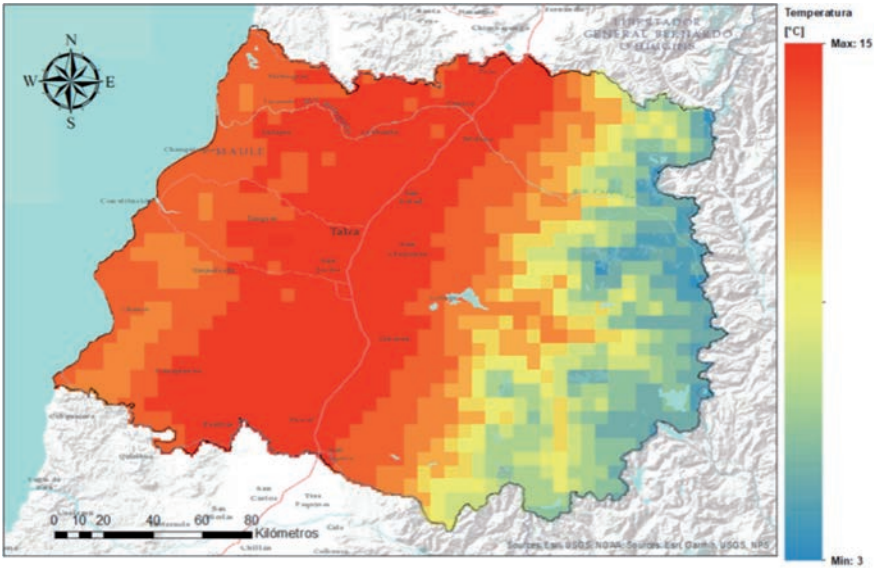


Figura 1.4. Mapa de temperaturas promedio anual para la región del Maule, 1991-2020.

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[1], 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[2]).

[1] https://arclim.mma.gob.cl/

[2] 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[3], 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 RPCP8.5 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.

[3] Proyecto de Inter comparación de modelos acoplados (https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/).

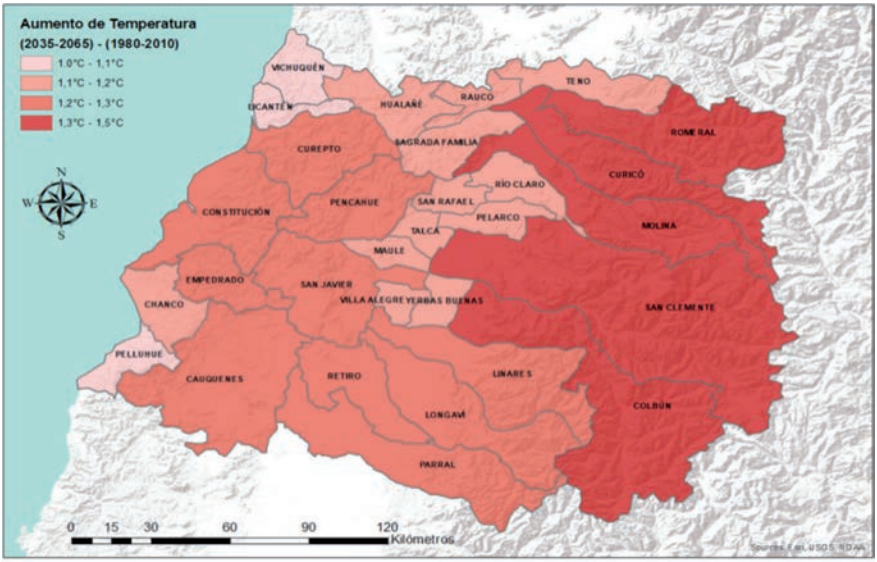


Figura 1.5. Mapa de diferencia de temperatura promedio anual por comuna de la región del Maule, de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de ensamble de modelos CMIP5, bajo un escenario RPCP8.5.

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 cordilleranas de la región (Figura 1.6).

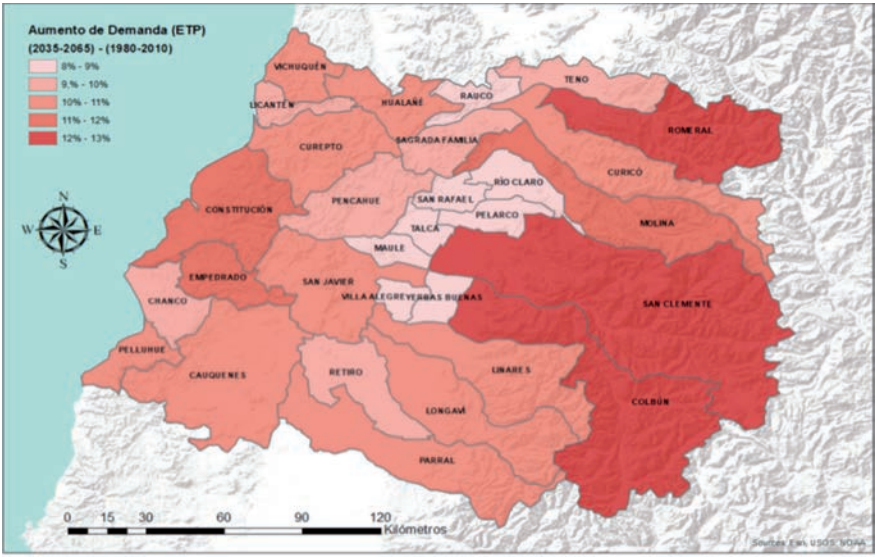


Figura 1.6. Mapa de diferencia de ETP en porcentaje del promedio anual por comuna de la región del Maule de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de ensamble de modelos CMIP5, bajo un escenario RPCP8.5.

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.

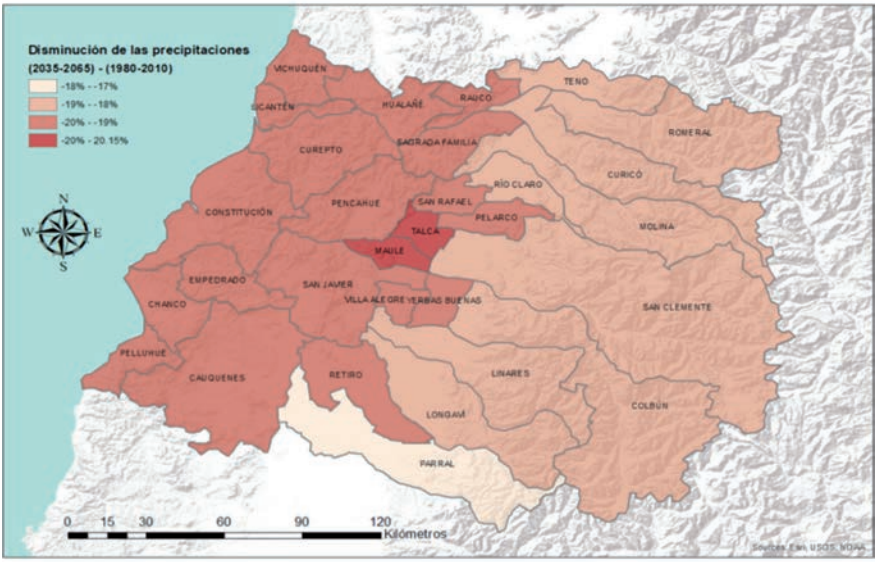


Figura 1.7. Mapa de diferencia de precipitaciones en porcentaje del promedio anual por comuna de la región del Maule de los periodos 2035-2065 y el histórico de las proyecciones de los ensambles de modelos CMIP5, bajo un escenario RPCP8.5.

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 6ºC. 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, Améglio 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.

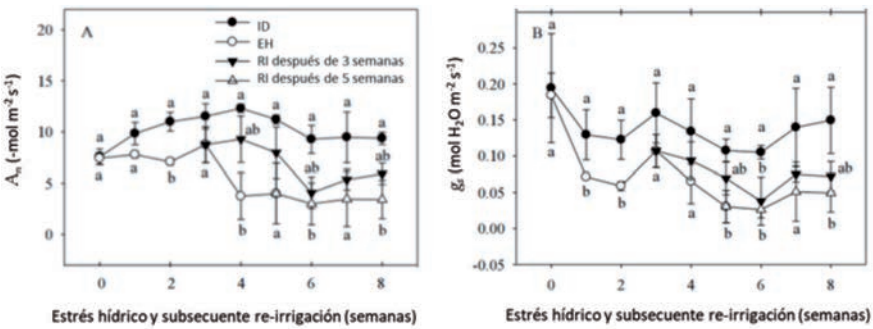


Figura 1.8. Cambios en la tasa de asimilación neta de CO_2, asimilación (An, fig. A) y conductancia estomática (g_s, fig. B) en hojas de plantas de arándano de arbusto alto "Bluecrop", durante 3 o 5 semanas de estrés hídrico y subsecuente re-irrigación después de 8 semanas. ID irrigación diaria; EH estrés 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).

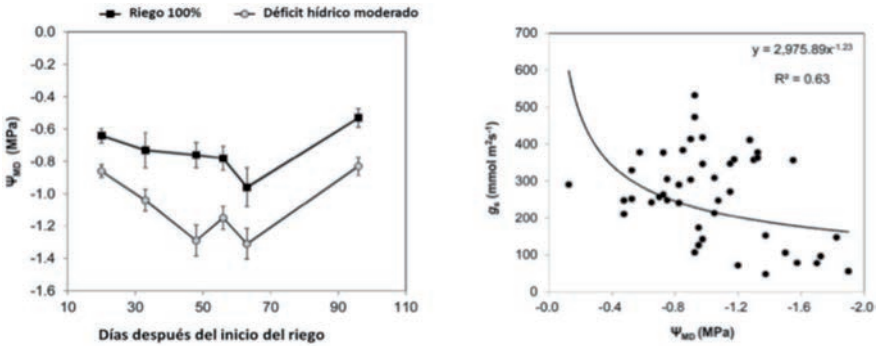


Figura 1.9. Potencial hídrico de hojas al medio día (Ψ_{MD}) y conductancia estomática (g_s) en función del potencial hídrico de plantas de arándanos (var. Legacy) totalmente regadas (100% de la evapotranspiración del cultivo, ETc) y plantas con déficit hídrico moderado (60% de ETc) provenientes de macetas experimentales, y de plantas comerciales cultivadas en campo bajo riego completo (100% ETc). Se muestran valores promedio ± 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 a -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

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).

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 (Vacciniun 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.

INIA
COPEVAL

2

Respuestas fisiológicas a diferentes dosis de reposición hídrica y formulaciones de ácido abscísico y metil jasmonato

Capítulo 2

Capítulo 2

Respuestas fisiológicas a diferentes dosis de reposición hídrica y formulaciones de ácido abscísico y metil jasmonato

Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Hamil Uribe Cifuentes
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.

Marisol Reyes Muñoz
Ingeniera Agrónoma, Dra.

Victoria Urrutia Moya
Ingeniera en Biotecnología

2.1 Efectos del estrés hídrico en plantas de arándano

El ácido abscísico (ABA) es una molécula orgánica que pertenece a la clase de compuestos llamados sesquiterpenos. Este compuesto se encuentra naturalmente en las plantas y desempeña un papel fundamental en la regulación del crecimiento, desarrollo y respuesta a diferentes estímulos ambientales, incluyendo la respuesta a la sequía (Wang et al., 2020).

En condiciones de estrés, el ABA puede regular la expresión de genes involucrados en la síntesis de compuestos protectores, como osmolitos y proteínas de choque térmico, los cuales protegen las células de la deshidratación y el estrés oxidativo (Wei et al.,2015). Asimismo, el ABA promueve el incremento de tolerancia de las plantas a condiciones de sequía mediante diversos mecanismos, los cuales se inician con la regulación de la apertura estomática, lo que permite reducir la pérdida de agua por transpiración, ayudando a mantener el equilibrio hídrico de la planta (Li et al., 2000).

Durante situaciones de estrés hídrico, el ácido abscísico (ABA) se acumula en las hojas y tiene un efecto directo en las células "guarda", las cuales controlan la apertura y cierre de los estomas. Estas células tienen la capacidad de bombear selectivamente iones, como el potasio (K+) y el calcio (Ca2+), desde y hacia el espacio extracelular. Esta acción conduce a una reducción en el potencial eléctrico de las células y en la absorción de agua. Como resultado, la turgencia celular disminuye, lo que a su vez provoca el cierre parcial o completo de los estomas (Franks et al., 2001).

El cierre estomático inducido por el ABA como respuesta a condiciones de menor disponibilidad hídrica, puede en algunos casos, afectar la fotosíntesis dada la menor captación de CO_2. Sin embargo, el cierre de los estomas también puede tener un efecto protector en la planta durante el estrés, dado que en estas condiciones la pérdida excesiva de agua a través de la transpiración podría tener efectos negativos en la planta, como la reducción de la tasa de fotosíntesis neta y el crecimiento final de la planta (Setter y Brun, 1980). En este sentido, el cierre parcial de los estomas limitaría la pérdida de agua a través de la transpiración, aumentando la eficiencia de uso y ayudando a mantener el equilibrio hídrico de la planta. Además, el ABA también puede modular la actividad de los pigmentos fotosintéticos, mejorando la captación de la luz y la eficiencia de la fotosíntesis en condiciones de estrés (Franks et al., 2001).

Se ha demostrado que la manipulación genética de la síntesis de ABA en las plantas puede mejorar su tolerancia a la sequía. Por ejemplo, varios estudios han reportado que la sobreexpresión de genes involucrados en la síntesis de ABA puede aumentar la tolerancia a la sequía en cultivos como arroz o soya, (Wu et al., 2016; Molinari et al., 2020). Sin embargo, la manipulación genética de cultivos puede ser controversial para algunos sectores de la opinión pública. Frente a ello, la aplicación exógena de ABA constituye una herramienta valiosa para mejorar la tolerancia de las plantas a la sequía u otras condiciones de estrés. Por ejemplo, en un estudio realizado con plantas de trigo expuestas a sequía, la aplicación exógena de ABA mejoró la eficiencia en el uso del agua, redujo la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y aumentó la actividad enzimática antioxidante (Du et al., 2013). Asimismo, en especies frutales, se ha demostrado que la aplicación exógena de ABA puede incrementar la síntesis de ceras de la cutícula (Gutiérrez et al., 2021), lo cual podría ayudar a impermeabilizar las superficies foliares, reduciendo la pérdida de agua y aumentando la reflexión de los rayos solares (Guo et al., 2016).

El ácido jasmónico (JA) y sus derivados, como el metil jasmonato (MeJA), también han demostrado tener efectos positivos en el aumento de la tolerancia de las plantas a condiciones de sequía. Estos compuestos, derivados de ácidos grasos, desempeñan un papel importante en la coordinación de respuestas de defensa inducibles, lo que mejora la capacidad de las plantas para resistir plagas de insectos y patógenos necrotróficos (Wasternack y Hause, 2013). Además de su función en la defensa, el JA también es necesario para regular procesos específicos del desarrollo de la planta, como la reproducción y la foto morfogénesis (Svyatyna y Riemann, 2012).

Durante condiciones de estrés hídrico, se ha observado que el ácido jasmónico (JA) desempeña un papel importante. Por ejemplo, en Arabidopsis, una pequeña planta que se utiliza como modelo de estudio, se ha reportado un aumento transitorio en el contenido de JA endógeno después del estrés por sequía (Balbi y Devotto,2008). Además, en otras especies como cebada y coliflor, la aplicación de jasmonato ha demostrado incrementar la respuesta del sistema antioxidante enzimático y reducir el daño en las membranas celulares causado por la falta de agua (Wu et al., 2012). Estos hallazgos sugieren que el JA podría contribuir a mejorar la capacidad de las plantas para hacer frente al estrés hídrico y protegerlas contra los efectos perjudiciales de la sequía. Sin embargo, el efecto de esta hormona en el incremento de la tolerancia al estrés hídrico en especies frutales no ha sido mayormente reportado hasta la fecha, aunque se ha mostrado que la aplicación de JA puede inducir una acumulación de betaína (una molécula osmoprotectora) en hojas de peral sometidas a condiciones restrictivas de agua (Gao et al., 2004).

Dadas las condiciones actuales de cambio climático que afectan nuestro país, así como las proyecciones de aumento de temperaturas y disminución del volumen de precipitaciones para la región del Maule, es fundamental contar con herramientas que permitan incrementar la tolerancia de las plantas de arándano a condiciones de menor disponibilidad de agua, sobre todo considerando la alta susceptibilidad de esta especie al estrés hídrico. Por tal motivo, en el proyecto se evaluó el efecto de dos formulaciones de combinaciones de ácido abscísico y metil jasmonato sobre la atenuación del estrés hídrico en plantas de arándano cultivadas en maceta. Para ello se midieron diferentes respuestas fisiológicas registradas bajo tres regímenes de riego: 100, 50 y 25% del consumo de plantas cultivadas en maceta. El cálculo de las reposiciones correspondientes a cada volumen se realizó estimando gravimétricamente el diferencial de agua consumida durante cierto periodo de tiempo. Los resultados se presentan a continuación.

2.2 Potencial hídrico (PH)

Éste es uno de los indicadores más importantes para determinar la condición hídrica de las plantas y es considerado un método efectivo para ajustar el riego. Para medirlo, se utilizan hojas o brotes que se colocan en una cámara de presión, conocida como cámara de Scholander, manteniendo el tallo en el exterior. A medida que se incrementa la presión dentro de la cámara, llegará un punto en el que el brote liberará el agua contenida en sus tejidos (Figura 2.1). Las plantas bien hidratadas solo necesitarán una pequeña presión (medida en Bares o Mega Pascales) para empujar el contenido xilemático desde la lámina foliar hacia el tallo, mientras que las plantas más estresadas retendrán con mayor fuerza el agua y se necesitará una mayor presión para liberarla de sus tejidos. Por esta razón se expresa en términos negativos, indicando que una planta con un potencial más negativo tiene una peor condición hídrica.

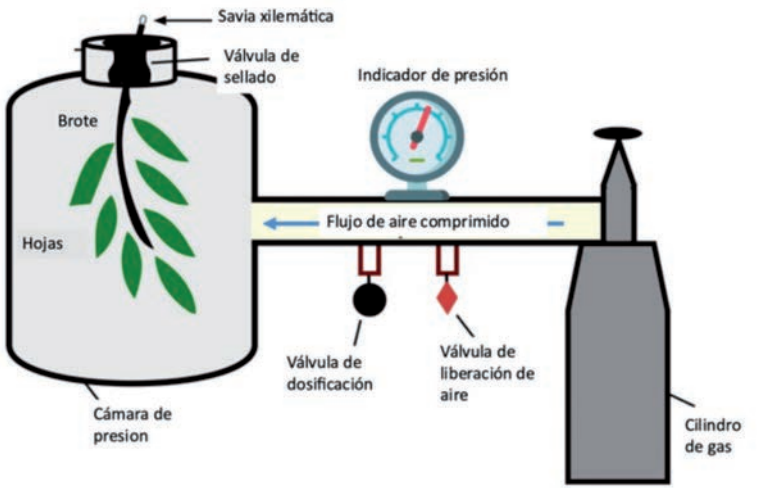


Figura 2.1. Esquema de una cámara de presión de medición de potencial hídrico. Adaptado de Zuecco *et al*., 2022).

En nuestro ensayo, los brotes de plantas de distintos tratamientos fueron oscurecidas mediante su embolsado alrededor de las 10:00 a.m. (hora local) en bolsas plásticas recubiertas con papel aluminio. Después de dos horas en la oscuridad, estos brotes fueron utilizados para la determinación del PH.

En la Figura 2.2 se puede observar que en el tratamiento control, sin inductores hormonales (barras en azul), las plantas sometidas a estrés hídrico del 50% y 25% presentaron un incremento del 13% y 43% respectivamente en la fuerza de retención de agua de los tejidos, en tanto que las plantas en que se aplicaron distintas formulaciones de ácido abscísico y metil jasmonato, estos valores fueron menores incluso que en el control con 100% de reposición hídrica. Para la formulación 1 (barras en verde), las plantas sometidas a las mismas condiciones de estrés presentaron variaciones porcentuales de - 25% y 0,5%, es decir que las plantas bajo el régimen de 50% de la suplementación hídrica presentaron mejor estado que el control totalmente regado, no encontrándose variaciones entre este último (100% riego, control sin hormonas) y la condición de riego del 25%.

En el caso de la segunda formulación de hormonas (barras anaranjadas), también se observaron diferencias significativas en el potencial hídrico de las hojas, en función del nivel de estrés al que fueron sometidas las plantas. En particular, las plantas expuestas al 50% y al 25% de suministro de agua, mostraron valores porcentuales de PH más bajos que el grupo de control (sin inductores hormonales) con una reducción del 29% y un aumento del 21%, respectivamente.

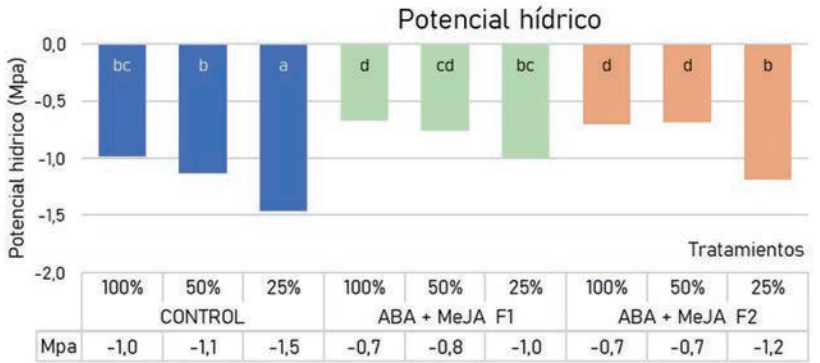


Figura 2.2. Potencial hídrico de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % del consumo estimado gravimétricamente. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

Nuestros resultado sugieren que en condiciones hídricas optimas (100%), las formulaciones fueron capaces de aumentar el PH significativamente. Por otra parte, un déficit hídrico moderado del 50%, presentó con ambas formulaciones un incremento del PH significativo, sin encontrarse diferencias entre las formulaciones. Además, en condiciones de déficit hídrico más severo (25%) ambas formulaciones lograron reducir el efecto en PH significativamente respecto al control, siendo la formulación 1 más efectiva.

2.3 Niveles de clorofila

La concentración de clorofila presente en las hojas de la planta también puede ser un indicativo de estrés hídrico. En algunas especies, este pigmento puede verse incrementado en las hojas de las plantas en condiciones de restricción hídrica (Zhou et al., 2017; Rustioni y Bianchi, 2021). Esto se debería a la reducción del tamaño de las células: el estrés hídrico puede hacer que las células de las hojas se contraigan, aumentando la concentración de clorofila en una unidad de área de hoja y, por lo tanto, aumentan la densidad de clorofila en las hojas.

Nuestros resultados muestran que al suministrar únicamente el 25% de la suplementación hídrica, la concentración de clorofila puede aumentar hasta un 48%. Sin embargo, en las plantas tratadas con formulados que contienen ABA o MeJA, la concentración de clorofila se mantiene en niveles similares al grupo de control que recibe riego adecuado, incluso en condiciones de restricción de hasta el 75% del riego (Figura 2.3).

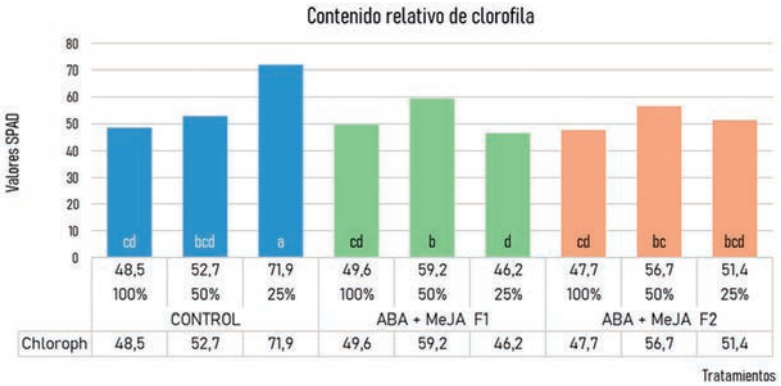


Figura 2.3. Contenido relativo de clorofila en hojas de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % del consumo estimado gravimétricamente. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

2.4 Fluorescencia de clorofila

El análisis de fluorescencia de clorofilas se basa en que la energía absorbida por las clorofilas de la hoja, proveniente de la luz del sol, puede tomar tres destinos: (1) fotosíntesis (fase fotoquímica); (2) disipación de calor y (3) emitirse como fluorescencia (Figura 2.4). Estos procesos ocurren en competencia, por lo que cuando la fotosíntesis disminuye se incrementa la disipación de calor en las hojas y la fluorescencia de clorofilas. Así la determinación de la fluorescencia de clorofilas es un parámetro, de fácil medición y que aporta información sobre los cambios en la eficiencia fotoquímica de las hojas (Maxwell y Johnson, 2000).

La determinación de fluorescencia puede realizarse tanto a la luz, como en hojas adaptadas a la oscuridad. En plantas adaptadas a oscuridad los equipos nos entregan la determinación del rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (PSII, por sus siglas en inglés) o Fv/Fm. La determinación a la luz se denomina rendimiento cuántico efectivo del PSII (ϕPSII) (Tambusi y Graciano, 2010) y es proporcional al rendimiento cuántico de la asimilación de CO_2 en condiciones no-foto respiratorias (Genty et al., 1989). Para este estudio se determinó ϕPSII,

mediante un Fluorometro MultispeQ. Este dispositivo además nos entrega información sobre la temperatura de la hoja y la disipación térmica. Estos parámetros se determinan mediante la disipación no fotoquímica de la energía absorbida (NPQt), según el protocolo propuesto por Fernández, et al., 2020.

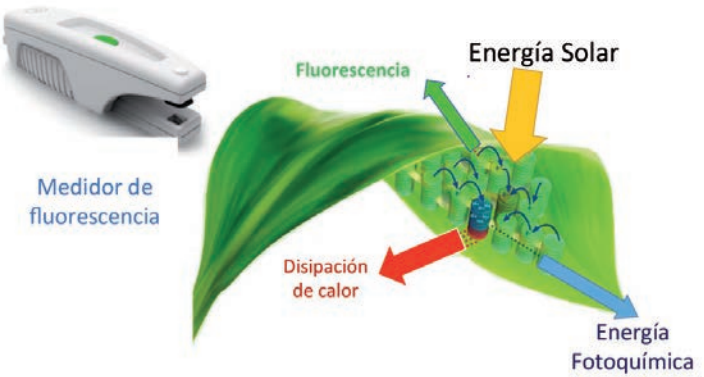


Figura 2.4. Flujo esquemático de las diferentes direcciones que puede seguir la energía solar que llega a las hojas de la planta e instrumento (genérico) usado para la medición de fluorescencia. Adaptado de Fernandez *et al*., 2020.

2.5 Rendimiento cuántico efectivo del fotosistema II

Los resultados de nuestro ensayo muestran que en condiciones control, sin inductores hormonales, no se observaron cambios significativos en el ϕPSI, aunque existe una disminución al incrementar la restricción hídrica que podría afectar a largo plazo. Sin embargo, las plantas sometidas a regímenes hídricos restrictivos y que recibieron la aplicación de formulados a base de ABA y MeJA no vieron afectado este parámetro (Figura 2.5), siendo equivalentes a las plantas bien regadas.

El ácido abscísico ha sido asociado con la regulación de la apertura y cierre de los estomas, limitando la pérdida de agua y evitando la fotoinhibición del PSII en condiciones de estrés hídrico, Por otro lado, el jasmonato ha sido relacionado con la activación de los sistemas antioxidantes de las plantas, lo que ayuda a proteger el PSII contra el daño oxidativo producido por el exceso de luz. Además, el jasmonato también puede regular la expresión de genes que codifican para proteínas del PSII, mejorando la síntesis y el ensamblaje

de las mismas. Esto indica que la aplicación de ABA y MeJA podría mejorar la capacidad de las plantas para mantener su funcionamiento fotosintético incluso en condiciones de estrés hídrico, lo que podría ser beneficioso para su supervivencia en condiciones con limitaciones de agua. Cabe destacar que las plantas tratadas con ABA y MeJA presentaron valores de ϕPSI equivalentes a las plantas bien regadas, lo que sugiere una mayor tolerancia al estrés hídrico.

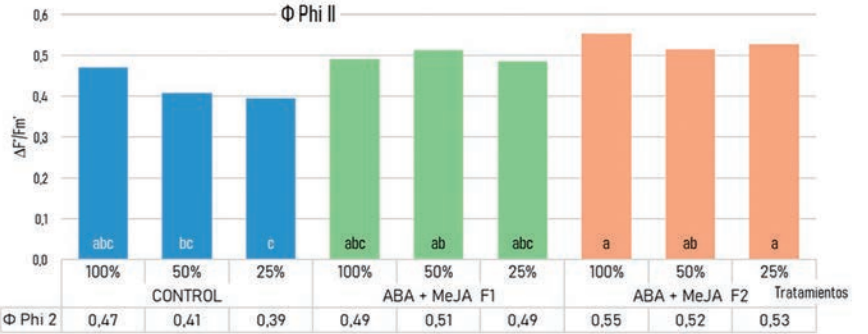


Figura 2.5. Rendimiento cuántico efectivo del fotosistema II en hojas de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % del consumo estimado gravimétricamente. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

2.6 Coeficiente de disipación no regulada (NPQ)

También conocido como apagamiento no fotoquímico mide la proporción de energía radiante absorbida por la PSII que es disipada como calor, como un mecanismo de foto protección inducido por la luz a través de disipación térmica de energía. Los resultados de este ensayo indicaron que a medida que se disminuye el régimen de 50 a 25 % de la reposición hídrica, este coeficiente aumenta en 42 y 73 %, respectivamente. Lo anterior sucede como una forma de proteger a la planta del daño foto oxidativo causado por el exceso de energía que no puede ser ocupada en el proceso de fotosíntesis. Sin embargo, en las plantas que fueron tratadas con los formulados en base a ABA + MeJA los valores de este parámetro fueron, aun en condiciones de riego deficitario (Figura 2.6).

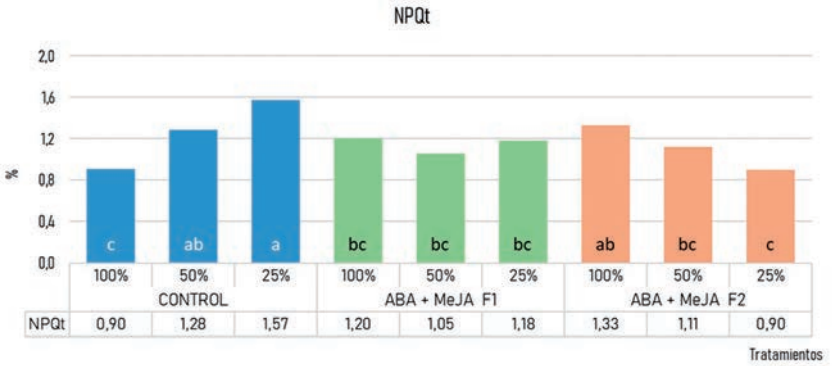


Figura 2.6. Apagamiento no fotoquímico en hojas de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % del consumo estimado gravimétricamente. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

2.7 Temperatura de hojas

La temperatura de las hojas puede ser utilizada como una variable indirecta para estimar el estado hídrico de la planta, pues cuando la planta se encuentra bajo estrés hídrico, su tasa de transpiración disminuye y esto puede afectar la temperatura de las hojas. En condiciones de buen suministro de agua, la tasa de transpiración de la planta es alta, lo que ayuda a enfriar la hoja. Aunque es una forma indirecta para estimar el estado hídrico de la planta, esta técnica puede complementarse con otras más especializadas. En este caso, el diferencial de la temperatura de hoja se registró en el mismo momento que la medición de fluorescencia de la clorofila.

Los resultados obtenidos mostraron que las plantas sometidas a estrés hídrico experimentaron un aumento en la temperatura de sus hojas (Figura 2.7). Este cambio se refleja en una diferencia negativa entre la temperatura del aire y la temperatura de las hojas. En consecuencia, cuando la temperatura de las hojas es mayor que la del aire, se obtiene un valor negativo. Por otra parte, en las plantas tratadas con formulados que contienen ABA y MeJA, este parámetro permanece relativamente constante, con valores similares a los encontrados en el control. Es decir, la acción combinada de estas hormonas es capaz de mantener la temperatura de la planta incluso bajo condiciones de estrés hídrico en diferentes niveles.

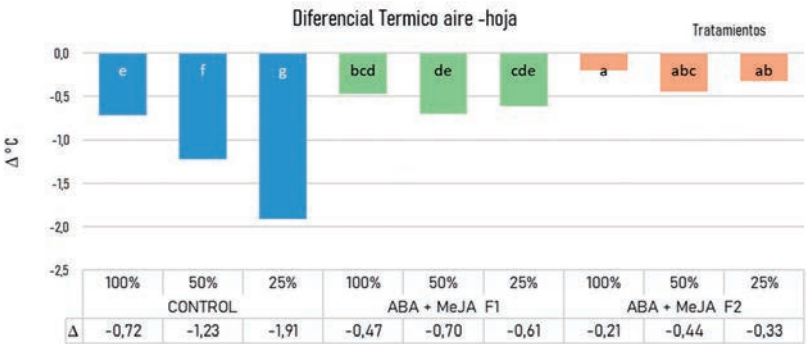


Figura 2.7. Diferencial de temperatura del aire con respecto a las hojas de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % del consumo estimado gravimétricamente. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

2.8 Conclusiones

En condiciones ambientales desfavorables, como la disminución de la disponibilidad de agua, las plantas pueden modificar su metabolismo para garantizar su supervivencia. No obstante, esta adaptación puede tener un impacto negativo en la cantidad y calidad de los frutos. Así, distintas investigaciones, incluido los resultados de este experimento, han mostrado que la aplicación exógena de inductores hormonales como el ácido abscísico y el metil jasmonato puede aumentar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico, mejorando su estado hídrico y reduciendo la temperatura de las hojas, lo que resulta en un aumento del rendimiento fotosintético. Además, la aplicación de inductores hormonales puede ser una estrategia eficaz e interesante para mejorar la eficiencia de la planta en el uso del agua en plantaciones de arándano, maximizando el rendimiento de los cultivos en situaciones de déficit hídrico. Finalmente, el ahorro de agua asociado a esta técnica, puede tener implicaciones positivas para el medio ambiente y la sostenibilidad del sector agrícola.

2.9 Referencias

Balbi, V., & Devoto, A. (2008). Jasmonate signalling network in Arabidopsis thaliana: crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. New Phytologist, 177(2), 301-318.

Du, Y. L., Wang, Z. Y., Fan, J. W., Turner, N. C., He, J., Wang, T., & Li, F. M. (2013). Exogenous abscisic acid reduces water loss and improves antioxidant defence, desiccation tolerance and transpiration efficiency in two spring wheat cultivars subjected to a soil water deficit. Functional plant biology : FPB, 40(5), 494-506. https://doi.org/10.1071/FP12250

Fernández, R. D., Holalu, S. V., Cid, L. P., & Long, S. P. (2020). MultispeQ-Photosynthesis: A Tool for Rapid, Noninvasive Measurement and Analysis of Photosynthetic Rates. ACS Omega, 5(32), 20429-20436. https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01877

Gao, X. P., Wang, X. F., Lu, Y. F., Zhang, L. Y., Shen, Y. Y., Liang, Z., & Zhang, D. P. (2004). Jasmonic acid is involved in the water-stress-induced betaine accumulation in pear leaves. Plant, Cell & Environment, 27(4), 497-507. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01167.x

Genty, B., Briantais, J. M., & Baker, N. R. (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects, 990(1), 87-92.

Guo, J., Xu, W., Yu, X., Shen, H., Li, H., Cheng, D., Liu, A., Liu, J., Liu, C., Zhao, S., & Song, J. (2016). Cuticular Wax Accumulation Is Associated with Drought Tolerance in Wheat Near-Isogenic Lines. Frontiers in Plant Science, 7.

Gutierrez, C., Figueroa, C.R., Turner, A., Munne-Bosch, S., Muñoz, P., Schreiber, L., Zeisler, V., Marin, J.C., Balbontin, C. (2021). Abscisic acid applied to sweet cherry at fruit set increases amounts of cell wall and cuticular wax components at the ripe stage. Scientia Horticulturae, Volume 283. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821002041)

Li, J., Wang, X.Q., Watson, M.B., & Assmann, S.M. (2000). Regulation of abscisic acid-induced stomatal closure and anion channels by guard cell AAPK kinase. Science, 287 5451, 300-3.

Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence--a practical guide. Journal of experimental botany, 51(345), 659-668. https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659

Mingeau, M., Perrier, C., & Améglio, T. (2001). Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. Scientia Horticulturae, 89(1), 23-40.

Molinari, M. D. C., Fuganti-Pagliarini, R., Marin, S. R. R., Ferreira, L. C., Barbosa, D. A., Marcolino-Gomes, J., Oliveira, M. C. N., Mertz-Henning, L. M., Kanamori, N., Takasaki, H., Urano, K., Shinozaki, K., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Nepomuceno, A. L. (2020). Overexpression of AtNCED3 gene improved drought tolerance in soybean in greenhouse and field conditions. Genetics and molecular biology, 43(3), e20190292. https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2019-0292

Rustioni, L., Bianchi, D. (2021). Drought increases chlorophyll content in stems of Vitis interspecific hybrids. Theor. Exp. Plant Physiol. 33, 69-78 https://doi.org/10.1007/s40626-021-00195-0

Setter, T.L., & Brun, W.A. (1980). Stomatal closure and photosynthetic inhibition in soybean leaves induced by petiole girdling and pod removal. Plant physiology, 65 5, 884-7.

Tambussi, E., and Graciano, C. (2010). La fluorescencia modulada de la clorofila: método del pulso saturante. In: Técnicas de Medición en Eco fisiología Vegetal, Fernández. M.E. and Gyenge, J.E. (Eds), INTA. Argentina, 119-126.

Wang, X., Li, Q., Xie, J., Mei, H., Cai, J., Zhou, Q., Dai, T., & Jiang, D. (2020). Abscisic acid and jasmonic acid are involved in drought priming-induced tolerance to drought in wheat. Crop Journal.

Wang, X., Li, Q., Xie, J., Mei, H., Cai, J., Zhou, Q., Dai, T., & Jiang, D. (2020). Abscisic acid and jasmonic acid are involved in drought priming-induced tolerance to drought in wheat. Crop Journal.

Wei, L., Wang, L., Yang, Y., Wang, P., Guo, T., & Kang, G. (2015). Abscisic acid enhances tolerance of wheat seedlings to drought and regulates transcript levels of genes encoding ascorbate-glutathione biosynthesis. Frontiers in Plant Science, 6.

Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L., & Zhang, M. (2012). Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (Brassica oleracea L.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. Journal of Plant Growth Regulation, 31, 113-123.

Wu, J., Kim, S. G., Kang, K. Y., Kim, J. G., Park, S. R., Gupta, R., Kim, Y. H., Wang, Y., & Kim, S. T. (2016). Overexpression of a Pathogenesis-Related Protein 10 Enhances Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Rice. The plant pathology journal, 32(6), 552-562. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.06.2016.0141

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, CO. et al. (2017). Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. BMC Plant Biol 17, 24 https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x

Zuecco, G., Amin, A., Frentress, J., Engel, M., Marchina, C., Anfodillo, T., ... & Penna, D. (2022). A comparative study of plant water extraction methods for isotopic analyses: Scholander-type pressure chamber vs. cryogenic vacuum distillation. Hydrology and Earth System Sciences, 26(13), 3673-3689.

FirmPro

3

Mejoramiento de la calidad de frutos en arándano mediante el uso de inductores hormonales en condiciones de restricción hídrica

Capítulo 3

Capítulo 3

Mejoramiento de la calidad de frutos en arándano mediante el uso de inductores hormonales en condiciones de restricción hídrica

Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Juan Hirzel Campos
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Victoria Urrutia Moya
Ingeniera en Biotecnología

3.1 Estrés hídrico y calidad de frutos

La calidad puede referirse como un conjunto de características que permiten que el fruto sea apreciado y consumido con agrado, lo cual es una combinación de parámetros como color, sabor, firmeza, tamaño, uniformidad, frescura y contenido nutricional, que determinan su valor comercial y su aceptación en los mercados de destino. El arándano es un fruto muy sensible a la pérdida de calidad, debido a su delgada y permeable cutícula, que está cubierta de ceras fácilmente removibles. Asimismo, al ser frutos pequeños, con una alta relación de superficie/volumen, absorben y liberan calor fácilmente, lo que puede llevar a una alta tasa de deshidratación. Esta pérdida de agua también implica una pérdida acelerada de firmeza tanto en condiciones de pre como de post cosecha y puede ser más pronunciada dependiendo de la susceptibilidades de cada variedad (Moggia et al., 2022).

Las plantas de arándano son particularmente sensibles al estrés hídrico y altas temperaturas, lo que puede dañar severamente el cultivo y la calidad de los frutos. En particular, el estrés hídrico puede afectar negativamente la calidad de los arándanos impactando en el tamaño, firmeza y contenido de

azúcares. Diferentes estudios han mostrado que una adecuada suplementación hídrica es indispensable para lograr buenos rendimientos y mantener la calidad de los frutos. Por ejemplo, Ortega-Farias et al. (2021) han reportado que la disminución del riego en un 50% de las necesidades hídricas puede reducir el tamaño y el rendimiento de frutos por planta, aunque aumenta la concentración de sólidos solubles. Adicionalmente, Bryla (2009, 2011) ha reportado que el estrés hídrico disminuye la fotosíntesis y lleva a un menor crecimiento y producción de frutos, afectando también otros parámetros como la firmeza, la acidez y el contenido de azúcares.

El estrés hídrico no solo afecta la calidad y producción en la temporada en que las plantas se ven expuestas a menores suplantaciones de riego, sino que también puede influir en la producción de los siguientes años. En este contexto, Mingeau et al, (2001) examinaron los efectos de diferentes niveles de déficit de agua en distintas etapas fenológicas del arándano. Los resultados demostraron que incluso la aplicación de un estrés hídrico moderado durante la última etapa de crecimiento y maduración del fruto, puede influir significativamente en el rendimiento de la planta, afectando tanto el peso promedio de la fruta como el diámetro de la misma, disminuyendo el rendimiento total. Por otra parte, dado que la formación de yemas florales ocurre en los meses de verano y se superpone con el desarrollo tardío del fruto, el estrés hídrico aplicado a las plantas después de la cosecha también puede reducir el número de yemas florales de la siguiente temporada.

En las actuales condiciones de cambio climático, caracterizado en nuestro país por la disminución de los volúmenes y menor ocurrencia de precipitaciones, los productores de arándanos se enfrentan a un desafío cada vez mayor, en el cual deben cumplir con las exigencias de los mercados por fruta de calidad, y al mismo tiempo, ser competitivos con otros países exportadores con similares destinos y fechas de llegada a los mercados, lo que aumenta aún más la presión para producir frutos de alta calidad. Lo anterior no es fácilmente abordable en condiciones de restricción hídrica y altas temperaturas durante el periodo de crecimiento de los frutos.

El mejoramiento genético tradicional ha sido una herramienta importante para el desarrollo de variedades de plantas con características deseables, incluyendo la tolerancia a una menor suplementación hídrica (Lobos and Hancock, 2015). Una de las estrategias utilizadas para mejorar la tolerancia a la sequía es la realización de cruzamientos con especies que presenten mayor

resistencia. Aunque este proceso ha demostrado ser eficaz en la obtención de variedades mejoradas, puede ser lento y requerir de recursos considerables. Sin embargo, complementariamente pueden evaluarse el uso de inductores que incrementen la tolerancia a sequía, lo que podría ayudar a reducir el tiempo y los costos asociados con el mejoramiento genético tradicional.

3.2 Uso de Inductores hormonales en el mejoramiento de la calidad de frutos

El uso de fitohormonas como el ácido abscísico (ABA) o el ácido jasmónico (JA) y sus derivados, como el jasmonato de metilo (MeJA), ha demostrado ser efectivo aumentando la tolerancia de las plantas a las condiciones de déficit hídrico (Capítulo 2) y mejorar las características de calidad de los frutos en diversas especies. Por ejemplo, distintas investigaciones sugieren que el ABA influye significativamente en la calidad de la fruta. Tijero et al. (2016) encontraron que el ABA juega un papel importante en el desarrollo de los frutos en cerezo, estimulando su proceso de maduración y afectando positivamente los parámetros de calidad durante la precosecha. Además, Setha (2012) realizó una exhaustiva revisión sobre el efecto del ABA en la maduración y calidad de frutas climatéricas y no climatéricas, y concluyó que el ABA contribuye a varios procesos durante la maduración, incluyendo el metabolismo respiratorio y la producción del etileno, los cambios de color y pigmentos, la síntesis de compuestos fenólicos y el contenido nutricional, así como la composición de la pared celular y el ablandamiento de los frutos.

La aplicación de exógena de JA o MeJA también han mostrado tener efectos positivos en la calidad de la fruta. Por ejemplo, Ozturk (2015) llevó a cabo un estudio en el que se evidenció que la aplicación de tratamientos de MeJA antes de la cosecha provocó un retraso en el ablandamiento de las ciruelas y un incremento en la presencia de compuestos bioactivos. Wang (2021) revisó varios estudios que indicaron que la aplicación de MeJA durante las etapas de precosecha y postcosecha mejora la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles y prolonga la vida útil de frutos de varias especies. Además, Concha et al. (2013) observaron que la aplicación de MeJA aceleró la maduración de la fruta y aumentó la acumulación de antocianinas en frutillas originarias de Chile (*Fragaria chiloensis*). Por último, González-Aguilar et al. (2000) encontró que la exposición de frutos de mango a MeJA en forma vaporizada, redujo el daño por frío y mantuvo la calidad de la fruta durante la postcosecha. En general, estos

estudios sugieren que los tratamientos con JA/MeJA pueden tener impactos positivos en varios aspectos de la calidad de la fruta, incluido el aumento de la actividad antioxidante, el retraso de la senescencia, la mejora del contenido vitamínico, el aumento de la firmeza y la regulación de la expresión génica durante la maduración.

La evaluación de estos compuestos en arándano también ha mostrado resultados promisorios en la mejora de la calidad de los frutos. Por ejemplo, Wang (2019) demostró que este compuesto incrementa la capacidad antioxidante de los frutos. El mismo autor señala que la aplicación de MeJA indujo la resistencia a enfermedades como *Botrytis cinerea* y retrasó el ablandamiento de los arándanos al inhibir la degradación de los materiales de la pared celular y mantener el metabolismo energético (Wang; 2021, 2020). Estos resultados indican que el uso de MeJA puede ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad y prolongar la vida de post cosecha de los arándanos, así como para fortalecer su resistencia a enfermedades y mejorar su calidad nutricional.

Aunque aún no se ha determinado completamente la forma en la que el AJ o el MeJA pueden incrementar la tolerancia a la sequía de las plantas o mejorar la calidad de los frutos, se ha observado que la aplicación de este compuesto promueve la síntesis de ceras cuticulares en hojas de repollo y frutos de peral (Yuan et al., 2020; Wu et al., 2020). Por consiguiente, es razonable suponer que la mayor resistencia a condiciones restrictivas de riego pueda atribuirse al aumento de las propiedades de impermeabilización de la membrana cuticular en hojas y frutos.

Por otra parte, la aplicación de ABA en arándano ha mostrado que, en general, puede afectar positivamente la calidad de los frutos, pero los hallazgos son mixtos. Por ejemplo, Buran et al. (2012) encontraron que el ABA retrasó la maduración de los arándanos, pero no afectó el contenido fenólico total, la capacidad antioxidante ni el contenido de fitoquímicos. Han et al (2020) mostraron que la aplicación de ABA aumentó el contenido de sólidos solubles y antocianinas, pero redujo la firmeza de la fruta y el contenido de algunos metabolitos bioactivos. Zhang et al., (2017) reportaron que el tratamiento con ABA aumentó la acumulación de antocianinas y disminuyó el contenido de acidez titulable. Por último, Oh et al., (2018) encontraron que el ABA estimuló la acumulación de antocianinas individuales, pero también promovió el ablandamiento de la fruta. En general, estas investigaciones sugieren que

el ABA puede afectar la calidad de los arándanos, pero los efectos específicos dependerán de la concentración de ABA aplicada y la etapa del desarrollo de la fruta.

En el proyecto "Desarrollo de un producto para incrementar la tolerancia al estrés hídrico y calidad organoléptica de frutos de arándanos mediante el uso de inductores hormonales y nutricionales" se evaluaron los efectos de 3 regímenes de reposición hídrica correspondientes al 100% 50 % y 25 % de la evapotranspiración junto con diferentes combinaciones de metil jasmonato y ácido abscísico sobre algunas características de los frutos como firmeza, tamaño, azucares y acidez que influyen positivamente en sus características organolépticas. Los resultados se exponen a continuación.

3.3 Firmeza de frutos (g/mm)

La firmeza es un parámetro muy importante en la calidad general de los frutos y puede variar dependiendo de las condiciones ambientales durante su desarrollo. Es importante tener en cuenta que la maduración de los frutos en el huerto es secuencial, lo que implica que éstos van madurando en función de las temperaturas y la fecha de floración; así, hay frutos que fueron polinizados y cuajaron primero, y crecen a temperaturas moderadas durante la primera, en tanto que los más tardíos en cuajar crecen expuestos a mayores temperaturas durante inicios de verano. Los frutos expuestos a altas temperaturas durante su crecimiento pueden verse afectados en su calidad y firmeza (Yang et al., 2019), lo cual es relevante para evaluar la calidad de los frutos provenientes de distintos eventos de cosecha en la temporada.

Nuestros resultados indican que, en primer lugar, la firmeza de los frutos varía entre las diferentes cosechas de los tratamientos control (sin inductores hormonales y con suplementación hídrica completa). Los frutos provenientes de la primera cosecha presentaron la mayor firmeza (163,8 g/mm), aunque para las restantes cosechas el valor promedio de firmeza no fue inferior a 140 g/mm, valor límite bajo el cual se define un fruto como "blando". Sin embargo, un análisis más detallado permite observar que, aunque el promedio de la firmeza de los frutos no es inferior a este límite, el porcentaje de frutos que no supera este valor fue aumentando desde el 5% en los frutos de la primera cosecha a un 16%, 27% y 35% para la segunda, tercera y cuarta cosecha respectivamente (Figura 3.1).

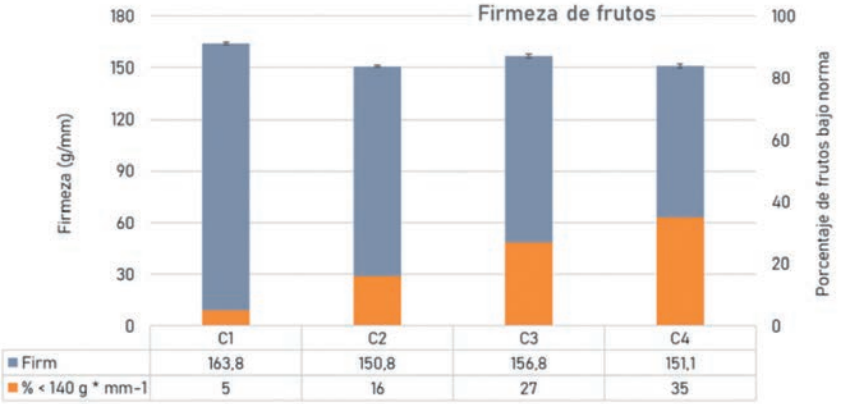


Figura 3.1. Firmeza de frutos de arándano de la variedad Legacy en diferentes eventos de cosecha (barras en gris). Barras anaranjadas en la parte inferior de las barras grises, señalan el porcentaje de frutos blandos. C1, C2, C3 y C4 indican primera, segunda, tercera y cuarta cosecha respectivamente.

En los tratamientos con restricción hídrica e inductores hormonales, la firmeza de los frutos también varió dependiendo del régimen de riego a la que fueron sometidas las plantas en el ensayo. Por ejemplo, en los frutos de plantas del cuarto evento de cosecha (sin inductores hormonales y sin restricción hídrica) fue de 152 g/mm, no diferenciándose de los que recibieron 50% de riego. Sin embargo, en los frutos de plantas con un 25% de riego, este parámetro fue significativamente menor (130 g/mm). Por otra parte, el uso de formulados preparados en base a ABA y MeJA, mostró incrementar la firmeza de los frutos en las condiciones del suministro hídrico más restrictivo, siendo equivalentes a las encontradas en el tratamiento control de 100% de reposición de agua (Figura 3.2). Además el porcentaje de frutos blandos disminuyó en los tratamientos de los formulados de ABA y MeJA (Figura 3.3). Lo anterior sugiere que el uso de inductores hormonales puede ser una herramienta útil en la conservación de este parámetro aún en condiciones de regímenes hídricos deficitarios.

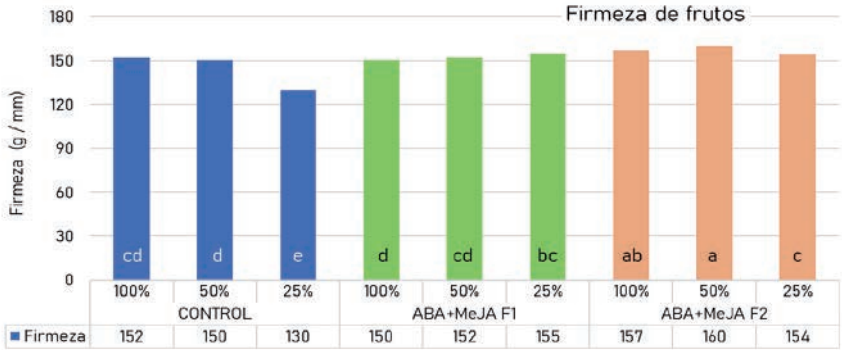


Figura 3.2. Firmeza de frutos de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA). Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

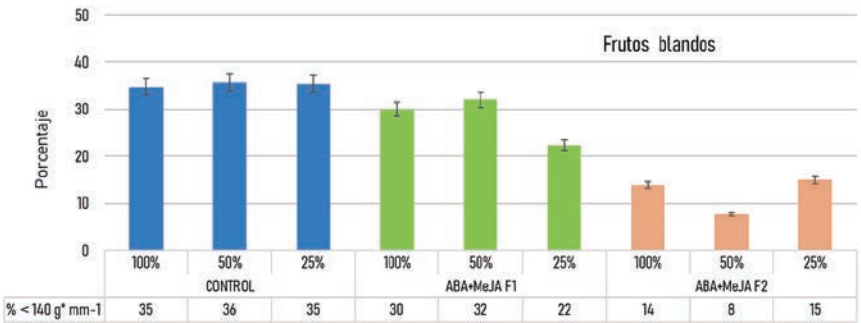


Figura 3.3. Porcentaje de frutos blandos de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico y metil jasmonato. Suplementación hídrica de 100, 50 y 25 % de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA.

3.4 Diámetro de frutos (mm)

El diámetro de los frutos es un aspecto clave en la calidad de los mismos y puede ser afectado por regímenes restrictivos de riego. Los déficits de agua pueden reducir tanto el peso como el diámetro de los frutos entre un 10% y un 15%, lo que afecta negativamente tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos (Almutairi et al., 2021). Resultados similares fueron encontrados en nuestros ensayos los que muestran que la reducción de un 50% y 75% de la suplementación hídrica disminuye el diámetro de los frutos en un 5% y 10% respectivamente (Figura 3.4). Además, el porcentaje de frutos pequeños, definidos como aquellos de diámetro ecuatorial inferior a 15 mm, fue sólo del 1% en las plantas que recibieron el 100% de riego, en tanto que este porcentaje aumentó a un 9% y 25% en los tratamiento de 50% y 25% del riego (Figura 3.5).

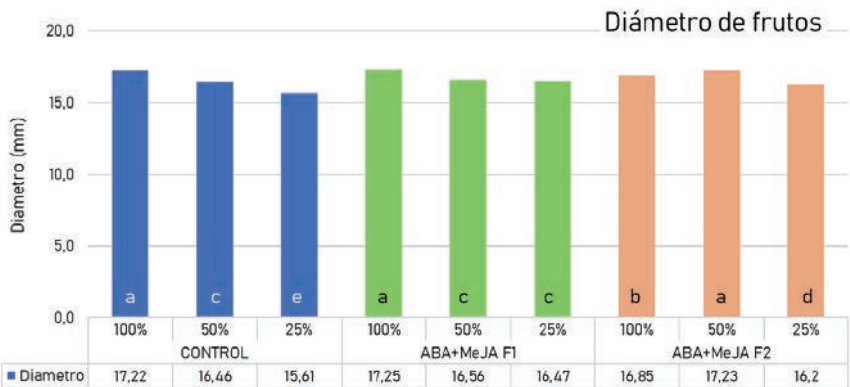


Figura 3.4. Diámetro ecuatorial de frutos de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico y metil jasmonato. Suplementación hídrica de 100, 50 y 25% de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

La aplicación de formulados de ABA y MeJA resultó efectiva para mitigar la reducción de tamaño de los frutos en plantas sometidas a riego deficitario. Para ambos formulados, la reducción del tamaño de los frutos solo fue del 4% y 6% en el régimen de riego más restrictivo (Figura 3.4). Además, los frutos tratados con el formulado 2 y que recibieron el 50% de agua, no difieren de los frutos del tratamiento control sin inductores hormonales y sin restricción hídrica.

Asimismo, el porcentaje de frutos pequeños encontrados en las plantas con este tratamiento de riego disminuyó a 13% y 6%, respectivamente (Figura 3.5). Estos resultados sugieren que la aplicación de formulados de ABA y MeJA podría ser una estrategia útil para mantener la calidad de los frutos en condiciones de déficit hídrico.

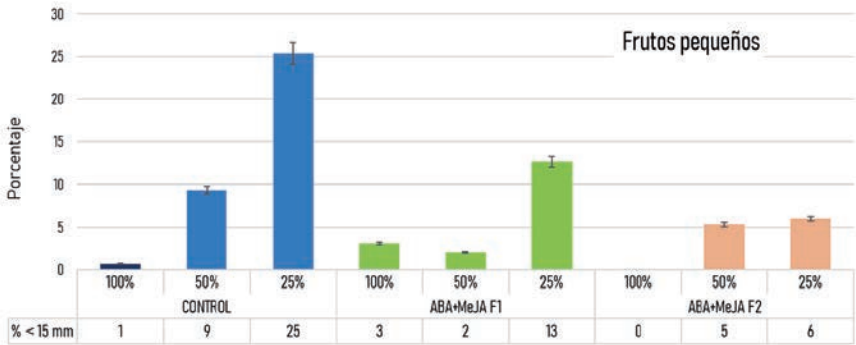


Figura 3.5. Porcentaje de frutos pequeños de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico y metil jasmonato. Suplementación hídrica de 100, 50 y 25% de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA.

3.5 Sólidos solubles (%)

El contenido de sólidos solubles en los frutos de arándanos aumentó en respuesta a la restricción hídrica, lo cual se debe posiblemente a una mayor concentración de azúcares en frutos más pequeños. Resultados similares han sido observado en estudios previos, como el realizado por Ortega-Farías (2021) en la variedad Elliot. Sin embargo, se encontró que los frutos de las plantas que no experimentaron disminución de riego y recibieron formulados en base a ABA

y MeJA también presentaron un aumento en el contenido de sólidos solubles en comparación con el tratamiento control. Este efecto se observó igualmente en las plantas sometidas a riego deficitario, pero sin disminución significativa del tamaño de la fruta (Figura 3.6). Estos resultados son especialmente interesantes, ya que sugieren que el uso de estas hormonas puede mejorar el contenido de sólidos solubles sin afectar negativamente el tamaño del fruto aun en condiciones de déficit hídrico.

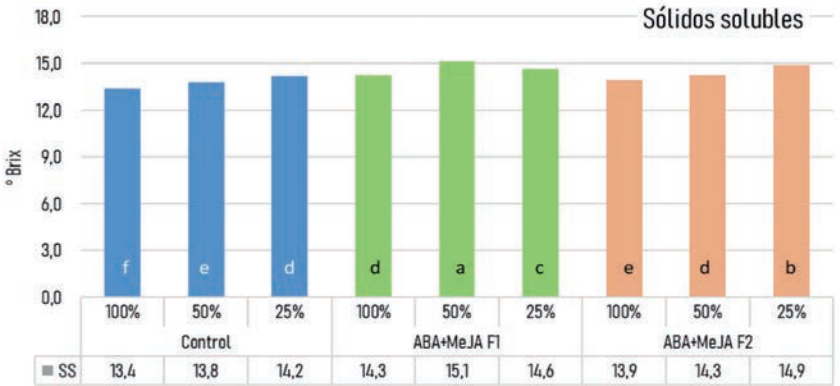


Figura 3.6. Contenido de solidos solubles totales de frutos de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico y metil jasmonato. Suplementación hídrica de 100, 50 y 25% de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

3.6 Acidez titulable (%)

La acidez titulable es una medida de la cantidad de ácido presente en los frutos. Se determina mediante la adición de una solución alcalina a una muestra y se mide la cantidad de álcali necesaria para neutralizar la acidez presente. Los niveles de acidez pueden variar dependiendo de la madurez de los frutos, y son afectados por factores como la variedad, el clima, el suelo o sustrato en donde se cultiva y otras prácticas de manejo. En la mayoría de los frutos, la acidez titulable es un factor importante que influye en su sabor, calidad y valor comercial, pues un nivel adecuado de ácido otorga un sabor fresco y hace que los frutos sean más resistentes a la descomposición y la oxidación. Por otro lado,

los frutos con niveles bajos de acidez titulable pueden tener un sabor plano e insípido, y pueden ser más propensos a la descomposición y la decoloración.

Nuestros resultados muestran que el contenido de ácidos de los frutos aumenta significativamente al restringir el suministro de agua. Sin embargo, se observa un aumento aún mayor en los frutos de plantas bien regadas que fueron asperjadas con los formulados a base de ABA y MeJA. En estos casos, el contenido de ácidos superó al control sin aplicación de inductores hormonales en un 62% y 36% para el formulado 1 y formulado 2 respectivamente. Además, en estos mismos tratamientos el porcentaje de acidez titulable también se vio incrementado en las plantas sometidas a regímenes de riego deficitarios (Figura 3.7) con respecto al control bien regado y sin aplicación de inductores hormonales.

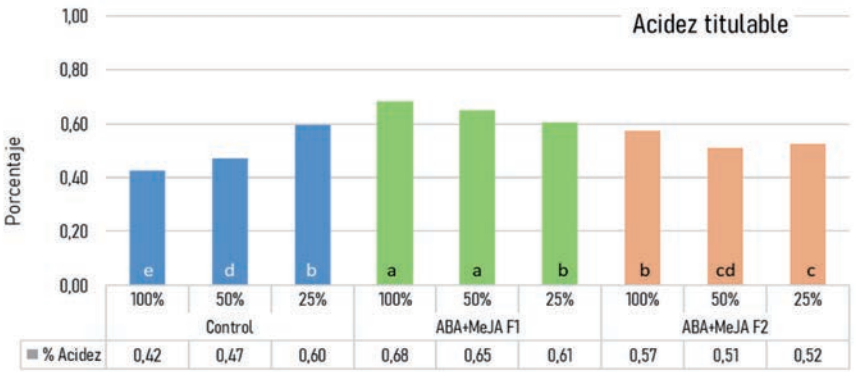


Figura 3.7. Porcentaje de acidez titulable de frutos de plantas de arándano sometidas a estrés y bajo la acción de diferentes formulados de ácido abscísico y metil jasmonato. Suplementación hídrica de 100, 50 y 25% de la reposición estimada gravimétricamente. Barras azules: tratamiento control sin inductores hormonales; barras verdes: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA; Barras anaranjadas: tratamiento con formulado 1 de ABA+MeJA. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

3.7 Conclusiones

Los resultados de este proyecto sugieren que la aplicación combinada de ABA y MeJA puede ayudar significativamente a mejorar la calidad de la fruta, incluso en condiciones de menor disponibilidad de agua. Los frutos tratados con formulados de ambas hormonas presentaron un aumento en el firmeza y calibre de los frutos, lo que sugiere una mejora en su textura y capacidad de conservación. Además, se observó un incremento en el contenido de solidos solubles, lo que puede mejorar el sabor y la aceptación de los frutos por parte del consumidor. También se encontró un aumento en el contenido de acidez titulable, lo cual podría contribuir a un sabor más equilibrado y agradable de los frutos. En resumen, la aplicación combinada de ABA y MeJA puede ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad de la fruta en condiciones de estrés hídrico y aumentar su valor comercial.

3.8 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 horts, 56(2), 154-162. Retrieved May 1, 2023, from https://doi.org/10.21273/HORTSCI15493-20

Bryla, D.R. (2011). Crop Evapotranspiration and Irrigation Scheduling in Blueberry. InTech. doi: 10.5772/18311

Bryla, D.R., Yorgey, B.M., & Shireman, A.D. (2009). Irrigation management effects on yield and fruit quality of highbush blueberry.

Buran, T.J., Sandhu, A.K., Azeredo, A., Bent, A.H., Williamson, J.G., & Gu, L. (2012). Effects of exogenous abscisic acid on fruit quality, antioxidant capacities, and phytochemical contents of southern high bush blueberries. Food chemistry, 132 3, 1375-1381 .

Concha, C., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Oñate, F.A., Schwab, W., & Figueroa, C.R. (2013). Methyl jasmonate treatment induces changes in fruit ripening by modifying the expression of several ripening genes in Fragaria chiloensis fruit. Plant physiology and biochemistry : PPB, 70, 433-44 .

González-Aguilar, G.A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R., & Wang, C.Y. (2000). Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality of mango fruit. Journal of agricultural and food chemistry, 48 2, 515-9 .

Han, T., Weilin, L., Wenlong, W., Shi, C., Xiaomin, W., Yang, H., & Xiong, Z.H. (2020). Quality analysis and metabolomic profiling of the effects of exogenous abscisic acid on rabbiteye blueberry.

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

Mingeau, M., Perrier, C., & Améglio, T. (2001). Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. Scientia Horticulturae, 89(1), 23-40.

Moggia, C.; Lara, I.; Graell, J.; Schmeda-Hirschmann, G.; Thomas-Valdés, S.; Lobos, G.A. Are fruit surface differences in two blueberry cultivars major drivers of contrasting postharvest dynamics? Horticulturae 2022, 8, 607. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070607

Oh, H.D., Yu, D.J., Chung, S.W., Chea, S., & Lee, H.J. (2018). Abscisic acid stimulates anthocyanin accumulation in 'Jersey' highbush blueberry fruits during ripening. Food chemistry, 244, 403-407.

Ortega-Farías, S., Espinoza-Meza, S., López-Olivari, R., Araya-Almán, M., & Carrasco-Benavides, M. (2021). Effects of different irrigation levels on plant water status, yield, fruit quality, and water productivity in a drip-irrigated blueberry orchard under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management, 249, 106805.

Ozturk, B., Yıldız, K., & Kucuker, E. (2015). Effect of pre-harvest methyl jasmonate treatments on ethylene production, water-soluble phenolic compounds and fruit quality of Japanese plums. Journal of the science of food and agriculture, 95 3, 583-91 .

Setha S. (2012). Roles of abscisic acid in fruit ripening. Walailak J. Sci. Technol. (WJST) 9 297-308.

Tijero, V., Teribia, N., Muñoz, P., & Munné-Bosch, S. (2016). Implication of Abscisic Acid on Ripening and Quality in Sweet Cherries: Differential Effects during Pre- and Post-harvest. Frontiers in Plant Science, 7.

Wang, H., Cheng, X., Wu, C., Fan, G., Li, T., & Dong, C. (2021). Retardation of postharvest softening of blueberry fruit by methyl jasmonate is correlated with altered cell wall modification and energy metabolism. Scientia Horticulturae, 276, 109752.

Wang, H., Wu, Y., Yu, R., Wu, C., Fan, G., & Li, T. (2019). Effects of postharvest application of methyl jasmonate on physicochemical characteristics and antioxidant system of the blueberry fruit. Scientia Horticulturae, 258, 108785.

Wang, S., Shi, X., Liu, F., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. Food chemistry, 353, 129482.

Wu, X., Chen, Y., Shi, X., Qi, K., Cao, P., Liu, X., ... & Zhang, S. (2020). Effects of palmitic acid (16: 0), hexacosanoic acid (26: 0), ethephon and methyl jasmonate on the cuticular wax composition, structure and expression of key gene in the fruits of three pear cultivars. Functional Plant Biology, 47(2), 156-169. https://doi.org/10.1071/FP19117

Yang, F., Bryla, D. R., & Strik, B. C. (2019). Critical Temperatures and Heating Times for Fruit Damage in Northern Highbush Blueberry, HortScience horts, 54(12), 2231-2239. Retrieved Apr 30, 2023, from https://doi.org/10.21273/HORTSCI14427-19

Yuan, Z., Jiang, Y., Liu, Y., Xu, Y., Li, S., Guo, Y., Jetter, R., & Ni, Y. (2020). Exogenous hormones influence Brassica napus leaf cuticular wax deposition and cuticle function. PeerJ, 8, e9264. https://doi.org/10.7717/peerj.9264

Zhang, X., Zhu, Y., Wang, Y., Luo, C., & Wang, X. (2017). Effects of different plant growth regulators on blueberry fruit quality. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 81.

Attention

4

Efecto de inductores hormonales en la calidad de frutos de arándano durante la postcosecha

Capítulo 4

Capítulo 4

Efecto de inductores hormonales en la calidad de frutos de arándano durante la postcosecha

Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Juan Hirzel Campos
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Victoria Urrutia Moya
Ingeniera en Biotecnología

En los capítulos anteriores hemos revisado algunos antecedentes del efecto del cambio climático sobre la agricultura. En especial, se ha discutido acerca del efecto de la disminución de las precipitaciones y la menor disponibilidad hídrica sobre la respuesta de las plantas y como ello puede afectar la calidad de los frutos de arándano. Asimismo, se ha mostrado que la aplicación de inductores hormonales, ácido abscísico (ABA) y jasmonato de metilo (MeJA) pueden ayudar en el mejoramiento de la adaptación de las plantas a condiciones de menor disponibilidad de agua e incrementar parámetros de calidad de los frutos como la firmeza y calibre al momento de cosecha.

Gran parte de los arándanos producidos en la región del Maule son trasladados a otras regiones para su posterior embarque y destino en mercados distantes como Asia, Europa o Norteamérica. Esto implica un enorme desafío para mantener las características de calidad de los frutos, lo cual determina en gran medida el precio final del producto y el retorno económico del productor. Por lo tanto, mantener tanto la calidad como la condición de los frutos lograda en el momento de la cosecha debe ser una prioridad para la industria de exportación. En este capítulo discutiremos los efectos de los inductores hormonales mencionados anteriormente en la preservación de la calidad y la reducción de daños en los frutos de arándano durante el almacenamiento y vida de anaquel.

Como se detalló previamente, se aplicaron dos formulados de ABA + MeJA de forma separada y semanal a plantas de arándanos de la variedad Legacy durante el desarrollo de los frutos. Para este trabajo se analizaron los frutos de la tercera ronda de cosecha, que representa aproximadamente el 40% de la producción. Los frutos de cada tratamiento (control sin inductores hormonales, aplicación de formulado 1 y aplicación de formulado 2) fueron mantenidos a 0 grados Celsius en aire regular durante 30 días. Luego, se evaluaron las características de firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable y desarrollo de pudriciones después de 2 días en condiciones de temperatura ambiente (20°C) tras el almacenamiento.

4.1 Firmeza de frutos (g/mm)

La Figura 4.1 muestra que no se observaron diferencias entre los frutos analizados al momento de la cosecha y los evaluados después del periodo de almacenamiento y subsecuente periodo de anaquel (post cosecha) en el tratamiento control. Asimismo, no se detectaron diferencias en la firmeza de los frutos tratados con ambos formulados en comparación con el control en el momento de la cosecha. Sin embargo, después del almacenamiento, los frutos tratados con los formulados mostraron una firmeza significativamente mayor a los del tratamiento control. Tanto el formulado 1 (ABA+MeJA F1) como el formulado 2 (ABA+MeJA F2) exhibieron un aumento del 5% en la firmeza en la etapa de postcosecha en comparación con la medición realizada al momento de la cosecha.

La firmeza es un componente fundamental para garantizar la calidad de los frutos y debe ser preservada durante el periodo de postcosecha. El uso de formulados de ABA + MeJA puede mejorar notablemente la firmeza de los frutos después de su almacenamiento, lo cual tiene un impacto positivo en la comercialización del producto final. Estos resultados coinciden con los reportados previamente por El-Mogy et al., (2019) y Balbontín et al., (2018) que muestran un incremento de la firmeza en frutos de fresa y cereza tratados con estas hormonas.

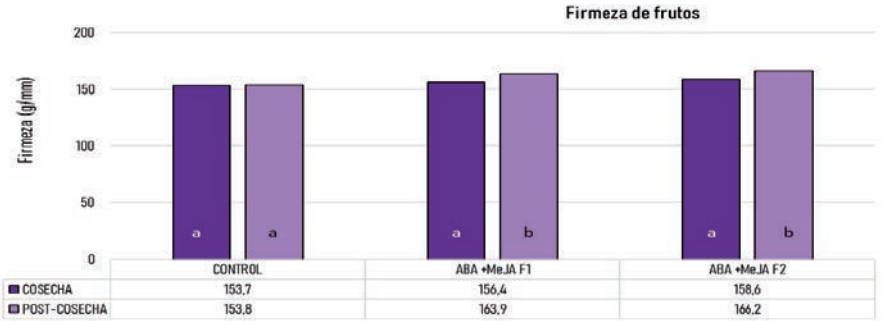


Figura 4.1. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre la firmeza de arándanos en cosecha y después de 30 días de almacenaje a 0º C + dos días de anaquel a 20ºC. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

4.2 Sólidos solubles (%)

En general, durante el almacenamiento, se observa una disminución de los sólidos solubles debido al consumo de azúcares para el mantenimiento del metabolismo celular (Yan et al., 2020). Sin embargo, nuestros resultados de evaluación indican que no se encontraron diferencias significativas en los sólidos solubles entre los diferentes tratamientos al momento de la cosecha (Figura 4.2). Esto sugiere que los formulados basados en ABA y MeJA no tienen un impacto negativo en este parámetro durante el almacenamiento. En consecuencia, se puede concluir que estos tratamientos no alteran los sólidos solubles, lo que implica que podrían ser utilizados sin comprometer la calidad de los productos durante el período de almacenamiento.

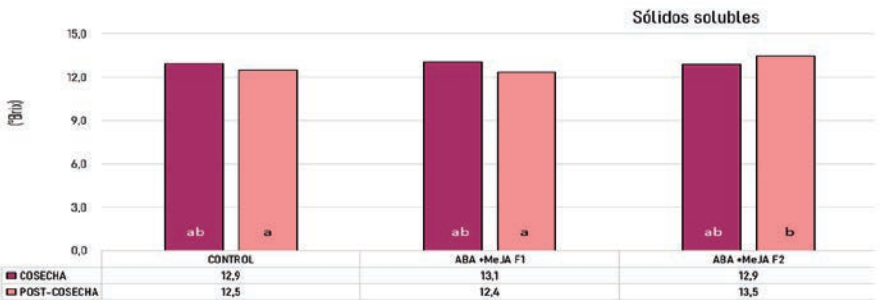


Figura 4.2. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre el contenido de solidos sólubles totales de arándanos en cosecha y después de 30 días de almacenaje a 0º C + dos días de anaquel a 20ºC. (LSD Fisher; α=0,05).

4.3 Acidez titulable (%)

El nivel de acidez de los frutos está estrechamente ligado a su madurez, disminuyendo a medida que este proceso avanza. La acidez de los frutos puede variar dependiendo de la variedad y condiciones de cultivo situándose entre 0,3 y 1,3% (Beaudry,1992). Los frutos con una acidez óptima tienen una vida útil más larga y conservan su calidad por más tiempo (Duan et al., 2011). La acidez también juega un papel importante en la actividad microbiana, ya que niveles adecuados de acidez previenen el crecimiento de microorganismos dañinos, prolongando la vida útil de los frutos (Hancock et al., 2008). Además de su influencia en la conservación, el nivel de acidez contribuye al sabor característico de los frutos y afecta la aceptación del consumidor.

Nuestros resultados indican que los tratamientos con inductores hormonales aplicados antes de la cosecha pueden preservar o aumentar el nivel de acidez de los frutos al momento de su recolección. Específicamente, los tratamientos con los formulados de ABA+MeJA demostraron ser efectivos para reducir la pérdida de acidez en los frutos durante el almacenamiento. En comparación con el grupo de control, que experimentó una disminución del 37% en la acidez durante el periodo de almacenamiento, los formulados 1 y 2 mostraron una disminución del 8% y 14%, respectivamente (Figura 4.3).

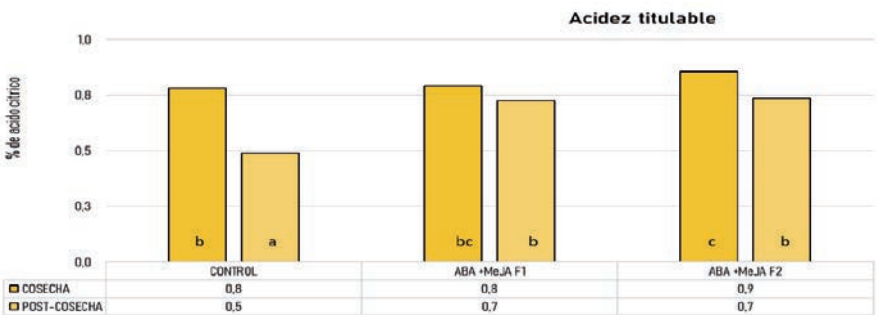


Figura 4.3. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre la acidez titulable de arándanos en cosecha y después de 30 días de almacenaje a 0° C + dos días de anaquel a 20°C. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

4.4 Pudrición de frutos (%)

El desarrollo de pudriciones en frutos durante el almacenaje es un problema bastante frecuente, aún a bajas temperatura. En la zona central de Chile, la pudrición gris causada por el hongo *Botrytis cinerea* es una de los mayores responsables de pérdidas de calidad. Esta pudrición se caracteriza por la aparición de manchas marrones o grisáceas en los frutos. Además, el hongo se propaga rápidamente en condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas.

Varias investigaciones han mostrado que el ácido jasmónico o sus derivados pueden tener un efecto positivo en la reducción del desarrollo de pudriciones durante el almacenamiento postcosecha, al inducir respuestas de defensa en las plantas, fortaleciendo su capacidad para resistir y combatir los patógenos causantes de pudriciones (Yao y Tian, 2005; Wang et al., 2021). En arándanos, Wang et al. (2020) reportaron que el metil jasmonato tiene un efecto positivo en la reducción de botritis y la promoción de enzimas antioxidantes durante el almacenaje. Por otra parte, el efecto del ácido abscísico sobre la conservación de frutos o disminución de pudriciones durante el almacenaje no ha sido reportado a la fecha.

Los resultados de nuestro ensayo mostraron una fuerte reducción del desarrollo de pudriciones. En el tratamiento control, sin inductores hormonales y nutricionales, el porcentaje de frutos afectados alcanzo el 6%. En cambio, tanto el formulado 1 (ABA+MeJA F1) como en el formulado 2 (ABA+MeJA F2) el porcentaje de frutos con desarrollo de pudriciones fue mínimo (Figura 4.4). Lo anterior sugiere que el uso de inductores nutricionales y hormonales como el MeJA y el ABA puede ser efectivo para reducir el desarrollo de pudriciones en los frutos durante el almacenaje.

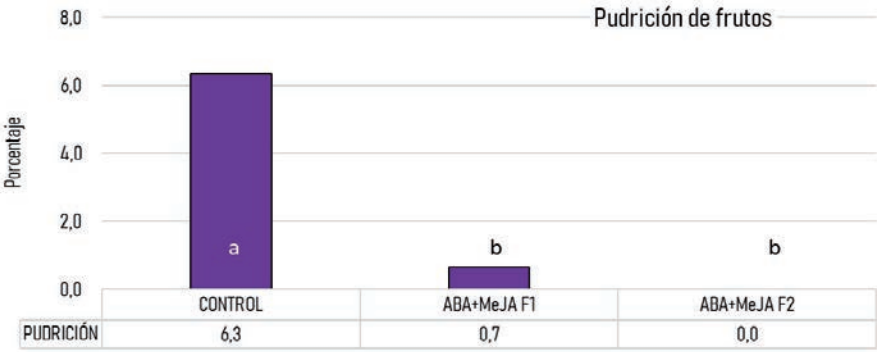


Figura 4.4. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre los niveles de pudrición en frutos de arándanos después de 30 días de almacenaje a 0° C + dos días de anaquel a 20°C. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

4.5 Deshidratación de frutos (%)

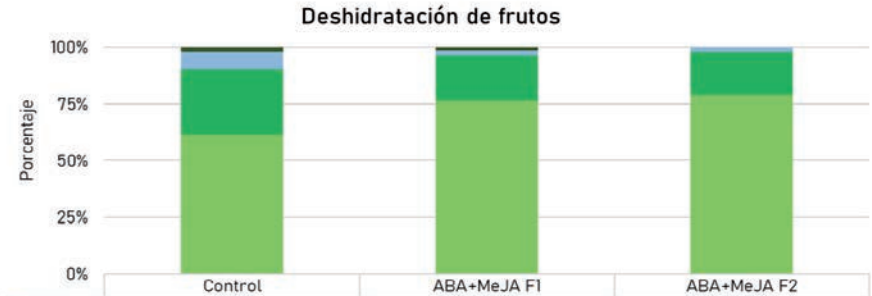
La deshidratación de los frutos de arándanos durante el almacenamiento es un problema que puede afectar su calidad, apariencia y vida útil. Sin embargo, se debe precisar que la deshidratación es una variable cualitativa, diferente de las variaciones de peso durante el almacenaje que son de naturaleza cuantificable. La deshidratación y pérdida de peso de los frutos durante el almacenamiento puede no ser directamente proporcional entre diferentes variedades de arándanos. Cada variedad de arándano puede tener características únicas, como el grosor de la piel, el contenido de agua y la composición general de la fruta. Estos factores pueden influir en la tasa y el grado de deshidratación y pérdida de peso durante el almacenamiento.

La cutícula es uno de los factores que impacta en la deshidratación de fruto, esta es una capa cerosa que recubre la superficie de los arándanos y actúa como una barrera protectora contra la pérdida de agua. Sin embargo, debido a su delgadez, la cutícula de los arándanos es menos efectiva en la retención de humedad en comparación con otros frutos. Esto significa que incluso una pequeña pérdida de agua puede resultar en una apariencia arrugada y una textura menos jugosa de los arándanos. Asimismo, la herida pedicelar de los frutos puede contribuir de manera significativa a la deshidratación (Yan y Castellarin, 2022).

La deshidratación de los frutos puede relacionarse en parte con las propiedades y componentes cerosos de la cutícula que pueden influenciar su permeabilidad, incrementando la tolerancia a la deshidratación (Moggia et al., 2017a). Al respecto, existen varias investigaciones que han demostrado el efecto del ácido abscísico en el incremento de la síntesis de compuestos cuticulares, por ejemplo, Gutiérrez et al., (2021) encontraron que la aplicación de ABA a frutos antes de la cosecha aumentó las cantidades de componentes de la pared celular y la cera cuticular en cerezas. En esta misma especie, Balbontín et al., (2018) mostraron que la aplicación de ABA redujo la cantidad de frutos agrietados después de varias horas de inmersión en agua, lo cual sugiere que esta hormona reduce la permeabilidad de los frutos. Por el contrario, la reducción de la síntesis de ABA puede llevar a un incremento en la permeabilidad de la cutícula (Romero y Lafuente, 2020).

Hasta la fecha, el papel de los jasmonatos en la biosíntesis de compuestos cuticulares de los frutos en arándano no ha sido determinado. Sin embargo, se ha demostrado que la aplicación exógena de MeJA puede modificar la composición química, la expresión génica y la morfología de la cutícula de los frutos y las hojas en diferentes variedades de peral y repollo, respectivamente (Wu et al., 2020; Yuan et al., 2020). Además, se ha reportado que la aplicación de MeJA en estados tempranos del desarrollo de las cerezas incrementa la tolerancia al agrietamiento (Balbontín et al., 2018), lo que podría indicar que esta hormona modifica las propiedades cuticulares de este fruto.

La evaluación de la deshidratación de los frutos de arándanos comúnmente se realiza registrando el número de frutos en diferentes categorías que reflejan el grado de deshidratación, como "Sin Deshidratación", "Leve", "Moderado" y "Severo". En nuestros resultados, encontramos que la aplicación de inductores hormonales y nutricionales durante la precosecha tuvo un efecto positivo en la reducción de la deshidratación de los frutos evaluados después del periodo de almacenamiento y anaquel. Esto se reflejó en un menor porcentaje de frutos en las categorías de deshidratación severa y moderada, y un aumento en la categoría de deshidratación leve. Por ejemplo, el tratamiento control mostró un 9 % en la suma de las categorías moderado y severo, en tanto que este porcentaje se vio disminuido al 3,3% y 2% en los tratamientos de ABA + MeJA F1 y ABA + MeJA F2 respectivamente (Figura 4.5).



	Control	ABA+MeJA F1	ABA+MeJA F2
Severo	2,0	1,3	0,0
Moderado	7,3	2,0	2,0
Leve	29,3	20,0	20,0
SD	61,3	76,7	82,0

Figura 4.5. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre la incidencia de deshidratación en arándano de 30 días de almacenaje a 0º C + dos días de anaquel a 20ºC.

La cuantificación de la deshidratación en porcentajes por categoría puede ser difícil de comparar, por lo cual se evaluó la utilización de un índice alternativo de deshidratación que asigna una ponderación diferencial, en función de los frutos en cada categoría y su grado de severidad.

Entonces se tiene que

$$ID = \left[\frac{(S*3+M*2+L*1+N*0)}{ntf*3}\right] * 100$$

Donde:

ID = índice de deshidratación
S = número de frutos en la categoría deshidratación severa.
M = número de frutos en la categoría deshidratación moderada
L = número de frutos en la categoría deshidratación Leve
N = número de frutos en la categoría sin deshidratación
ntf = número total de frutos

Aplicando esta fórmula a los datos del gráfico anterior se obtiene:

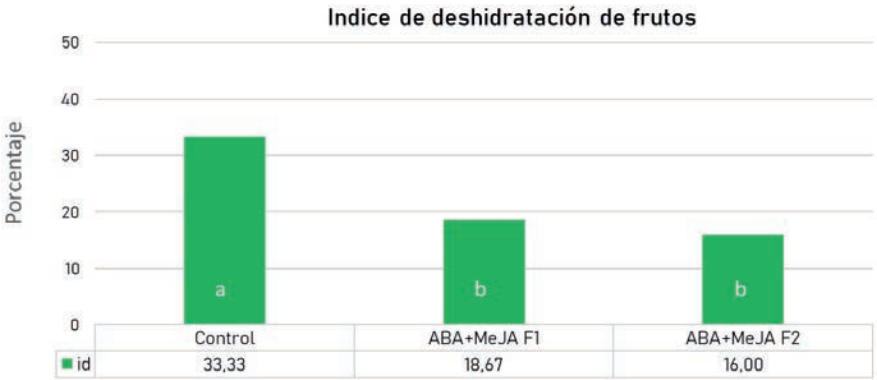


Figura 4.6. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre la deshidratación de frutos en arándano de 30 días de almacenaje a 0ºC + dos días de anaquel a 20ºC. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

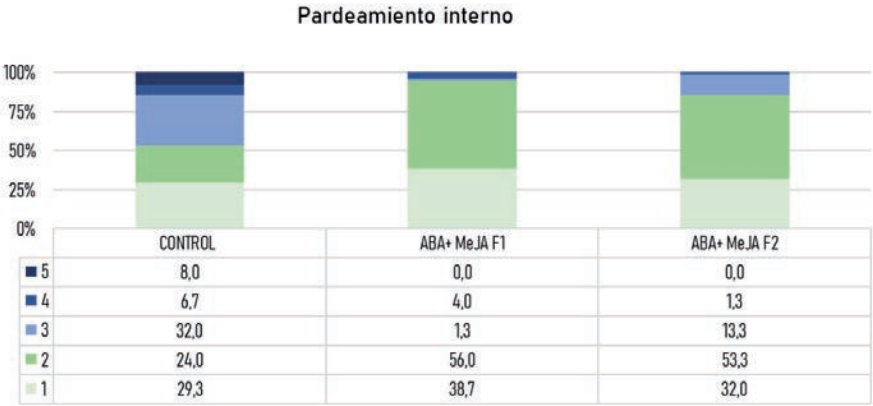
La utilización de este índice puede ayudar a la comprensión de los resultados entregando una evaluación sensible de los efectos de los tratamientos y facilita la comparación entre diferentes muestras o experimentos. En este caso, se puede apreciar claramente que el uso de formulados en base a ABA+MeJA puede ayudar a disminuir la deshidratación de los frutos durante el almacenaje de postcosecha (Figura 4.6).

4.6 Pardeamiento interno

El pardeamiento de la pulpa de los arándano es un indicador importante de la calidad que varía en función del desarrollo de la maduración y la manipulación de los frutos, lo cual afecta también a otros parámetros de calidad como la firmeza, el sabor y el desarrollo de microorganismos. De esta forma, frutos sobre maduros o con machucones tenderán a presentar problemas de pardeamiento de la pulpa y desarrollo de sabores anormales y ablandamiento. Asimismo, se ha reportado que, en arándano, la firmeza inicial del fruto condicionará el desarrollo de pardeamiento interno, siendo los frutos más blandos aquellos que presentarían una mayor condición de pardeamiento (Moggia et al., 2017b).

El pardeamiento interno de los arándanos puede deberse al disgregamiento de los tejidos del fruto, lo que lleva a la oxidación de compuesto fenólicos (Studman, 1997; Kader et al., 1997). Si bien se ha investigado ampliamente el papel del ácido abscísico en la regulación de la maduración y senescencia de la fruta, la relación directa entre el ABA y el pardeamiento interno aún no está completamente establecida. Aunque existen pocos estudios al respecto, se ha sugerido que el ABA podría reducir el pardeamiento interno durante la postcosechas de algunos productos vegetales (Zhang et al., 2015); (Castro-Cegrí, 2023). Sin embargo, se requiere de investigaciones adicionales para determinar su rol específico en este fenómeno. Por otra parte, se ha demostrado que la aplicación de ácido jasmónico tanto en pre como postcosecha en frutos, puede inhibir la expresión y la actividad de la enzima polifenil oxidasa (PPO), lo que posteriormente reduce la reacción enzimática de pardeamiento. Este efecto se ha evidenciado en varias frutas, como arándano (Huang et al., 2015), manzanas (Rudell et al., 2005), peras (Qingguo, 2013) y otros frutos (Reyes-Diaz et al., 2016).

En arándanos el pardeamiento se puede evaluar en función del grado de pardeamiento interno que ésta presente, en una escala de 1 a 5, siendo 1 la fruta sin pardeamiento de pulpa, 2; fruta con pardeamiento leve, 3; pardeamiento moderado, 4; pardeamiento alto y 5; pardeamiento severo. Nuestros resultados indican que en el tratamiento control el 36% de los frutos presentó pardeamiento interno desde moderado a severo, mientras que en los tratamientos de ABA + MeJA F1 y ABA + MeJA F2 el porcentaje de frutos afectados fue sólo del 5,3% y 14,6% respectivamente (Figura 4.7).



	CONTROL	ABA+ MeJA F1	ABA+ MeJA F2
5	8,0	0,0	0,0
4	6,7	4,0	1,3
3	32,0	1,3	13,3
2	24,0	56,0	53,3
1	29,3	38,7	32,0

Figura 4.7. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre la incidencia de pardeamiento interno en arándano de 30 días de almacenaje a 0ºC + dos días de anaquel a 20ºC. 1 la fruta sin pardeamiento de pulpa, 2; fruta con pardeamiento leve, 3; pardeamiento moderado, 4; pardeamiento alto y 5; pardeamiento severo.

Al igual que en el caso anterior, la distribución porcentual del pardeamiento interno por categorías de cada tratamiento puede transformarse a un índice de pardeamiento a través de la ponderación diferencial del daño y el número de frutos en cada categoría.

$$IPI = \left[\frac{(S*4+A*2+M*2+L*1+N*0)}{ntf*4}\right] * 100$$

Donde:

ID = índice de pardeamiento interno
S = número de frutos en la categoría pardeamiento severo.
A= número de frutos en la categoría pardeamiento alto.
M = número de frutos en la categoría pardeamiento moderado
L = número de frutos en la categoría pardeamiento leve
N = número de frutos en la categoría sin pardeamiento

ntf = número total de frutos

De esta forma, el mayor valor del índice de condición corresponderá a muestras sin pardeamiento. De acuerdo a éste, ambos tratamientos de aplicación de formulados en base a ABA+MeJA en precosecha incrementan la condición de los frutos en el almacenaje, reduciendo el pardeamiento interno de los frutos (Figura 4.8).

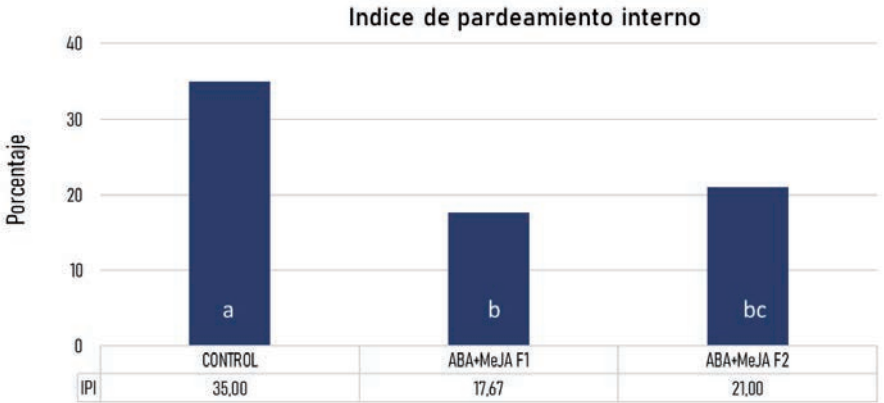


Figura 4.8. Efecto de diferentes formulados (F1 y F2) de ácido abscísico (ABA) y metil jasmonato (MeJA) sobre el pardeamiento interno de frutos en arándano de 30 días de almacenaje a 0º C + dos días de anaquel a 20ºC. Letras distintas en la base de las barras indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fisher; α=0,05).

4.7 Conclusiones

La aplicación de inductores hormonales como el ácido abscísico y el metil jasmonato en precosecha a plantas de arándano mejora la calidad de los frutos, incrementando su firmeza, el contenido de ácidos y reduciendo la deshidratación. Además, se observó un positivo efecto de estas hormonas en la reducción de las pudriciones de frutos y el pardeamiento interno.

Estos resultados indican que la aplicación de ácido abscísico y metil jasmonato en arándano puede ser una herramienta efectiva para mejorar la calidad y la conservación de los frutos, optimizando sus características físicas y químicas, así como su resistencia a enfermedades. Los resultados derivados del proyecto son relevantes para la industria agrícola y pueden tener un impacto positivo en la comercialización y consumo de esta fruta. Es importante destacar

que se requieren más investigaciones para comprender completamente los mecanismos involucrados y establecer las mejores prácticas de aplicación de estos inductores hormonales en el cultivo de arándanos.

4.8 Referencias

Balbontín, C., Gutiérrez, C., Wolff, M., & Figueroa, C. R. (2018). Effect of abscisic acid and methyl jasmonate preharvest applications on fruit quality and cracking tolerance of sweet cherry. Chil. J. Agric. Res., 78, 438-446. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000300438

Beaudry, R. (1992). Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. In Annual Report of the Michigan State Horticultural Society, 122nd ed. (pp. 140-145). East Lansing, MI, USA: Michigan State Horticultural Society.

Castro-Cegrí, A., Sierra, S., Hidalgo-Santiago, L., Esteban-Muñoz, A., Jamilena, M., Garrido, D., & Palma, F. (2023). Postharvest Treatment with Abscisic Acid Alleviates Chilling Injury in Zucchini Fruit by Regulating Phenolic Metabolism and Non-Enzymatic Antioxidant System. Antioxidants, 12(1), 211. https://doi.org/10.3390/antiox12010211

Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. Postharvest Biol. Technol., 59, 71-79. https://doi.org/[CrossRef]

El-Mogy, M. M., Ali, M. R., Darwish, O. S., & Rogers, H. J. (2019). Impact of salicylic acid, abscisic acid, and methyl jasmonate on postharvest quality and bioactive compounds of cultivated strawberry fruit. Journal of Berry Research.

Gutiérrez, C., Figueroa, C. R., Turner, A., Munné-Bosch, S., Muñoz, P., Schreiber, L., ... & Balbontín, C. (2021). Abscisic acid applied to sweet cherry at fruit set increases amounts of cell wall and cuticular wax components at the ripe stage. Scientia Horticulturae, 283, 110097. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110097Hancock, J.F., Callow, P.W., Serçe, S., Hanson, E.J., & Beaudry, R. M. (2008). Effect of Cultivar, Controlled Atmosphere Storage, and Fruit Ripeness on the Long-term Storage of Highbush Blueberries. Horttechnology, 18, 199-205.

Huang, X., Li, J., Shang, H., & Meng, X. (2015). Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(2), 337-343.

Kader, F., Rovel, B., Girardin, M., & Metche, M. (1997). Mechanism of browning in fresh highbush blueberry fruit (Vaccinium corymbosum L). Role of blueberry polyphenol oxidase, chlorogenic acid and anthocyanins. Journal of the Science of Food and Agriculture, 74, 31-34.

Moggia, C., Beaudry, R. M., Retamales, J. B., & Lobos, G. A. (2017a). Variation in the impact of stem scar and cuticle on water loss in highbush blueberry fruit argue for the use of water permeance as a selection criterion in breeding. Postharvest Biology and Technology, 132, 88-96. ISSN 0925-5214.

Moggia, C., Graell, J., Lara, I., González, G., & Lobos, G. A. (2017b). Firmness at harvest impacts postharvest fruit softening and internal browning development in mechanically damaged and non-damaged highbush blueberries (Vaccinium corymbosum L.). Frontiers in Plant Science, 8.

Qingguo, W. (2013). Effect of Methyl Jasmonate on Peel Browning of Postharvest Huangguan Pear. Food and Fermentation Technology.

Reyes-Díaz, M. M., Lobos, T. E., Cardemil, L., Nunes-Nesi, A., Retamales, J. B., Jaakola, L., Alberdi, M. R., & Ribera-Fonseca, A. (2016). Methyl Jasmonate: An Alternative for Improving the Quality and Health Properties of Fresh Fruits. Molecules, 21.

Romero, P., & Lafuente, M. T. (2020). Abscisic Acid Deficiency Alters Epicuticular Wax Metabolism and Morphology That Leads to Increased Cuticle Permeability During Sweet Orange (Citrus sinensis) Fruit Ripening. Frontiers in Plant Science, 11.

Rudell, D. R., Fellman, J. K., & Mattheis, J. P. (2005). Preharvest Application of Methyl Jasmonate to 'Fuji' Apples Enhances Red Coloration and Affects Fruit Size, Splitting, and Bitter Pit Incidence. HortScience, 40(6), 1760-1762. Retrieved May 18, 2023, from https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.6.1760

Studman, C. (1997). Factors affecting the bruise susceptibility of fruit. In G. Jeronimidis and J. F. V. Vincent (Eds.), Proceedings of the 2nd International Conference of Plant Biomechanics (pp. 273-281). Reading: University of Reading.

Wang, H., Kou, X., Wu, C., Fan, G., & Li, T. (2020). Methyl jasmonate induces the resistance of postharvest blueberry against gray mold caused by Botrytis cinerea. Journal of the Science of Food and Agriculture.

Wang, S., Shi, X., Liu, F., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. Food Chemistry, 353, 129482.

Wu, X., Chen, Y., Shi, X., Qi, K., Cao, P., Liu, X., ... & Zhang, S. (2020). Effects of palmitic acid (16:0), hexacosanoic acid (26:0), ethephon and methyl jasmonate on the cuticular wax composition, structure and expression of key gene in the fruits of three pear cultivars. Functional Plant Biology, 47(2), 156-169. https://doi.org/10.1071/FP19117

Yan, Y., & Castellarin, S. D. (2022). Blueberry water loss is related to both cuticular wax composition and stem scar size. Postharvest Biology and Technology, 188, 111907. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111907

Yao, H., & Tian, S. (2005). Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. Postharvest Biology and Technology, 35, 253-262.

Yuan, Z., Jiang, Y., Liu, Y., Xu, Y., Li, S., Guo, Y., Jetter, R., & Ni, Y. (2020). Exogenous hormones influence Brassica napus leaf cuticular wax deposition and cuticle function. PeerJ, 8, e9264. https://doi.org/10.7717/peerj.9264

Yan, X., Yan, J., Pan, S., & Yuan, F. (2020). Changes of the Aroma Composition and Other Quality Traits of Blueberry 'Garden Blue' during the Cold Storage and Subsequent Shelf Life. Foods, 9. 10.3390/foods9091223.

Zhang, Q., Liu, Y., He, C., & Zhu, S. (2015). Postharvest exogenous application of abscisic acid reduces internal browning in pineapple. Journal of agricultural and food chemistry, 63 22, 5313-20

5

Incremento de la tolerancia al déficit hídrico y mejoramiento de la calidad de arándanos mediante inductores hormonales y nutricionales en la región del Maule: consideraciones finales

Capítulo 5

Incremento de la tolerancia al déficit hídrico y mejoramiento de la calidad de arándanos mediante inductores hormonales y nutricionales en la región del Maule: consideraciones finales

Rafael López-Olivari
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Carolina Salazar Parra
Bióloga Ambiental, Dra.

Cristian Balbontín Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Marisol Reyes Muñoz
Ingeniera Agrónoma, Dra.

El presente boletín ha explorado los diferentes desafíos que enfrenta la producción de arándanos en la región del Maule en relación con el cambio climático, específicamente, con la escasez hídrica. Actualmente nos encontramos en escenario de clima cambiante, las proyecciones en nuestro país nos indican un escenario poco alentador, con incremento de la temperatura y disminución de la precipitación a corto y mediano plazo. Estos nuevos escenarios son un desafío a nivel agronómico y una oportunidad de desarrollar nuevas investigaciones agrícolas aplicadas e innovaciones agronómicas con enfoque local.

Las proyecciones climáticas son especialmente adversas para el cultivo de arándanos, representando un desafío significativo para los productores locales. Sin embargo, los avances en la investigación han revelado que la aplicación exógena de inductores hormonales puede ayudar a mitigar estos efectos negativos. Así, a

través de diversos estudios, se ha demostrado que el uso de las hormonas ácido abscísico y el metil jasmonato pueden ser consideradas como una estrategia efectiva para mejorar la respuesta de las plantas de arándano al estrés hídrico y potenciar la calidad de los frutos.

En primer lugar, es importante evaluar los requerimientos hídricos de los arándanos en función de diversos factores, como la variedad, el estado fenológico y el sistema de cultivo. Esto permitirá establecer regímenes hídricos adecuados que promuevan una producción sostenible y la obtención de frutos de alta calidad. Adaptar estos requisitos a cada situación específica es fundamental, considerando los nuevos materiales vegetales que constantemente se introducen en diferentes áreas geográficas.

Para potenciar y apoyar el desarrollo de los cultivos frente al clima cambiante, se han comenzado a desarrollar productos con base en diferentes compuestos que apoyen a la planta en situaciones de estrés, descritos como hormonas vegetales, reguladores de crecimiento y/o biostimulantes. Entre ellos, los inductores hormonales representan una estrategia prometedora para mejorar la tolerancia a la sequía y potenciar la calidad de los frutos.

Entre las hormonas vegetales, en este libro se destacarán se encuentra el ácido abscísico (ABA) es ampliamente conocido por estar involucrado en la inducción de procesos como dormancia de semillas, senescencia de algunos organos vegetales y respuesta de la planta al estrés. Es también reconocido por su función en el cierre estomático y en la síntesis de antocianinas. Por otra parte, el metil jasmonato (MeJA), un éster metílico del ácido jasmónico, el cual se ha estudiado en diferentes especies por sus efectos positivos en la calidad de los frutos. El ABA y MeJA combinados han demostrado ser efectivos en el aumento de la tolerancia de las plantas a condiciones de menor disponibilidad de agua, mejorando su estado hídrico y reduciendo la temperatura de las hojas. Estos efectos conducen a un aumento del rendimiento fotosintético y a una mayor eficiencia en el uso del agua en las plantaciones de arándano, lo que puede maximizar el rendimiento de este cultivo en situaciones de déficit hídrico.

Asimismo, se ha observado que la aplicación combinada de ácido abscísico y metil jasmonato puede mejorar significativamente la calidad de los frutos, incluso en condiciones de menor disponibilidad de agua. Los frutos tratados con formulados de ambas hormonas presentaron un aumento en la firmeza y el

calibre, mejorando su textura y capacidad de conservación. También se encontró un incremento en el contenido de sólidos solubles, lo que contribuye a un mejor sabor y aceptación por parte del consumidor. Estos hallazgos indican que el uso de inductores hormonales puede optimizar las características físicas y químicas de los frutos, así como su resistencia a enfermedades, lo que tiene un impacto positivo en la comercialización y consumo de los arándanos.

Sin embargo, es importante destacar que se requiere continuar con la investigación en este campo para lograr una comprensión más profunda de los mecanismos involucrados en el aumento de la tolerancia a sequia mediante los inductores hormonales evaluados en este proyecto. Es necesario realizar más estudios a gran escala para evaluar los efectos a largo plazo y que sean extensibles a otras especies frutales. Los resultados obtenidos en este proyecto no hubieran sido posibles sin el compromiso del Gobierno Regional del Maule, la asociación con Mip Agro, y la colaboración de otros investigadores.

En conclusión, podemos decir que los resultados mostrados en este boletín pueden ayudar como una herramienta complementaria, junto a otras estrategias a enfrentar los desafíos climáticos en la producción de arándanos en la región del Maule. Estos resultados tienen implicaciones tanto para los productores, al permitirles maximizar el rendimiento y la calidad de sus cultivos, como para los consumidores, ayudando a la conservación de las características organolépticas. Sin embargo, es necesario continuar con la investigación y la colaboración entre el sector público y privado para garantizar el desarrollo y la implementación adecuada de estas estrategias, así como para impulsar la sostenibilidad y la resiliencia de la industria agrícola frente al cambio climático.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Boletín INIA / Nº 484
www.inia.cl