BIBLIOTECA DE SILICIO

CHILE 3.0

CAPÍTULO TÉCNICO

ARÁNDANO

De la raíz a la condición de destino: agua, salinidad, defensa, firmeza y postcosecha

Versión definitiva · Octubre 2026

LA CALIDAD POSTCOSECHA DEL ARÁNDANO SE CONSTRUYE ANTES DE COSECHAR.

1. Una cadena productiva con múltiples puntos de intervención del Si

El arándano combina dos vulnerabilidades relevantes: un sistema radical fino y de volumen exploratorio limitado, y una fruta altamente perecible, sensible a deshidratación, daño mecánico, ablandamiento y pudriciones. Por eso sus limitaciones productivas no deben analizarse como problemas aislados.

RAÍZ → AGUA Y NUTRICIÓN → FUNCIONAMIENTO → FRUTO → ESTRUCTURA Y DEFENSA → FIRMEZA → CONDICIÓN DE DESTINO.

La importancia del silicio (Si) en este cultivo se entiende siguiendo esa misma cadena. En Vaccinium corymbosum ya existe evidencia directa de respuestas sobre crecimiento y calidad de fruto, tolerancia a salinidad y propiedades mecánicas de la baya [1–3]. Por lo tanto, este capítulo no separa "problema del cultivo" y "beneficio del Si": cada problema se conecta inmediatamente con la función comprometida y con la evidencia que respalda la intervención del Si.

2. Mapa de evidencia: problema → Si → respuesta

Problema productivo	Función comprometida	Conexión con Si	Nivel de evidencia
Déficit hídrico / raíz limitada	Agua, absorción, crecimiento	Mejor condición hídrica, nutricional y de crecimiento	Directa + convergente
Salinidad	Agua, Na/K, membranas, clorofila	Mitigación directa bajo 1,7 dS/m en cv. Biloxi	Directa en arándano
Nutrición / K	Regulación hídrica y balance iónico	Mejor desempeño nutricional y relación Na/K	Directa en arándano
Calor / alta demanda	Agua, fotosíntesis, crecimiento	Protección hídrica, fotosintética y antioxidante	Convergente fuerte
Botrytis / Alternaria	Sanidad de flor y fruto	Estructura + priming + menor pudrición natural en campo	Directa + convergente
Phytophthora	Raíz y defensa	Función radical + redes generales de defensa	Convergente
Hongos de madera	Estructura productiva	Tejidos + lignificación + defensa inducida	Convergente
Daño mecánico	Firmeza y resistencia	Hasta +19% firmeza y +10% fuerza destructiva	Directa en cv. Patriot
Postcosecha	Peso, firmeza, vida útil	Integridad precosecha + evidencia postcosecha con silicatos	Directa + convergente

La fuerza de cada afirmación se ajusta al nivel de evidencia: directa en arándano cuando existe; convergente cuando el mecanismo está demostrado en otros sistemas pero no específicamente en ese patosistema.

3. Raíz, agua y K: intervenir donde el cultivo tiene poco margen

El sistema radical del arándano hace que variaciones relativamente pequeñas de humedad, conductividad eléctrica o sanidad radical se proyecten rápidamente sobre el funcionamiento de la planta. Cuando cae la capacidad de abastecimiento radical, disminuyen el intercambio gaseoso, el crecimiento y la capacidad de sostener el desarrollo del fruto.

En cv. Ventura, el suministro de Si en solución nutritiva modificó positivamente crecimiento, biomasa, firmeza y desarrollo del fruto [1]. La relevancia no está en presentar al Si como un “estimulante genérico”, sino en que interviene sobre funciones que el arándano necesita conservar para sostener agua, nutrición y crecimiento.

SI EL PROBLEMA ES UNA RAÍZ CON POCO MARGEN PARA ABASTECER A LA PLANTA, EL Si DEBE EVALUARSE POR SU CAPACIDAD DE SOSTENER ESA FUNCIÓN.

4. Salinidad: evidencia directa de mitigación con Si

La salinidad combina menor disponibilidad efectiva de agua, acumulación de Na, alteración del balance Na/K, daño de membranas y pérdida de funcionamiento. En arándano esta sensibilidad puede expresarse aun a conductividades relativamente moderadas, dependiendo del cultivar, sustrato, volumen radical y manejo de fertirriego.

En cv. Biloxi, un ensayo factorial con estrés salino de 1,7 dS/m mostró que la salinidad redujo biomasa de brotes, conductancia estomática, clorofila y contenido relativo de agua, y aumentó fuga de electrolitos y acumulación foliar de Na. Bajo la misma condición, el tratamiento a base de Si mejoró contenido relativo de agua, conductancia y clorofila, redujo fuga de electrolitos, disminuyó fuertemente el Na y mejoró la relación Na/K [2].

EN ARÁNDANO, EL Si HA DEMOSTRADO MITIGAR DIRECTAMENTE LOS PRINCIPALES EFECTOS DEL ESTRÉS SALINO SOBRE AGUA, MEMBRANAS Y BALANCE Na/K.

La lectura técnica es especialmente importante para Chile: la salinidad no es exclusiva de una macrozona. Puede aparecer por agua de mayor CE, fertirriego intensivo, escaso lavado, alta evapotranspiración o pequeños volúmenes de sustrato.

5. Calor y alta demanda atmosférica: conservar función para conservar fruto

En ambientes cálidos, el problema es la combinación de temperatura, radiación, demanda evaporativa y capacidad limitada de la raíz para sostener el flujo de agua. Cuando esa relación se rompe, disminuyen el intercambio gaseoso y el crecimiento del fruto.

La evidencia Si × calor específicamente en arándano es menor que la disponible para salinidad. Sin embargo, la literatura en plantas demuestra repetidamente que el Si puede sostener balance hídrico, integridad de membranas, funcionamiento fotosintético y control oxidativo bajo estrés. En arándano, esos mismos ejes ya aparecen conectados con Si en los estudios de crecimiento y salinidad [1,2].

FRENTE A CALOR Y ALTA DEMANDA, EL PAPEL DEL Si ES CONSERVAR FUNCIONES QUE EL ESTRÉS COMPROMETE: AGUA, MEMBRANAS, FOTOSÍNTESIS Y CRECIMIENTO.

6. Defensa inducida: el Si no es sólo una barrera física

Frente a patógenos, la acción del Si debe entenderse en tres niveles simultáneos: estructura del tejido, defensa bioquímica y señalización. La literatura de interacción planta–patógeno describe un papel de priming: plantas tratadas con Si pueden responder más rápida o intensamente cuando ocurre el ataque [4].

- PAL: activa la vía fenilpropanoide, asociada a fenoles, flavonoides y lignificación.
- POD y PPO: participan en defensa oxidativa, entrecruzamiento de pared y metabolismo fenólico.
- Quitinasas y β-1,3-glucanasas: proteínas PR vinculadas a la degradación de componentes fúngicos.
- SOD, CAT y APX: regulan el balance de especies reactivas de oxígeno durante la respuesta defensiva.
- JA, SA y ET: forman parte del cross-talk hormonal que coordina distintos tipos de respuesta frente a patógenos.

EL SILICIO NO SÓLO REFUERZA EL TEJIDO QUE EL PATÓGENO DEBE PENETRAR; TAMBIÉN POTENCIA LA MAQUINARIA QUE LA PLANTA UTILIZA PARA RECONOCER, CONTENER Y RESPONDER AL ATAQUE.

En la propia fruta de arándano se ha demostrado que elevar actividades de β-1,3-glucanasa, quitinasa, PAL, POD y PPO se asocia con mayor resistencia frente a Botrytis y Alternaria [5]. Esto da coherencia específica al vínculo entre priming por Si y defensa del fruto, aun cuando el inductor utilizado en ese estudio no haya sido Si.

7. Botrytis y Alternaria: estructura + defensa + condición

Botrytis puede establecerse antes de cosecha y manifestarse durante almacenamiento, por lo que la postcosecha comienza en el huerto. La conexión con Si no debe limitarse a “fruta más dura”: el Si puede reforzar estructura y modular las mismas redes defensivas que el arándano utiliza frente a patógenos.

La evidencia directa en blueberry ya existe. En un ensayo de campo de tres temporadas, el silicato potásico aplicado en precosecha redujo significativamente la proporción de fruta con pudrición natural después de cuatro semanas de frío en dos de las tres temporadas. En fruta inoculada

experimentalmente se observaron reducciones puntuales de severidad de Alternaria y Botrytis, aunque sin una tendencia consistente los tres años [6].

EN BOTRYTIS Y OTRAS PUDRICIONES, EL Si APORTA POR MÁS DE UNA VÍA: ESTRUCTURA DEL FRUTO + DEFENSA INDUCIDA + MENOR EXPRESIÓN DE PUDRICIÓN NATURAL EN PARTE DE LOS ENSAYOS DIRECTOS.

La lectura correcta no es “reemplazar fungicidas”. Es incorporar una capa adicional de defensa que trabaja sobre el huésped y sobre la condición del fruto.

8. Phytophthora y hongos de madera: proteger órgano y respuesta

Phytophthora compromete el primer eslabón de la cadena: la raíz. La pérdida de raíz funcional deteriora agua, nutrición, vigor y capacidad productiva. Aquí el Si tiene una doble lógica: sostener funciones relacionadas con agua y crecimiento, y reforzar redes generales de defensa. La evidencia específica Si × Phytophthora en arándano no es tan directa como en salinidad o firmeza, por lo que este bloque se apoya en evidencia convergente de mecanismos.

Con los hongos de madera ocurre algo similar. En arándano chileno se han reportado pérdidas productivas importantes por enfermedades de madera; INIA informó reducciones de rendimiento de hasta 40% en huertos afectados, además de menor calidad y vida útil del huerto [7]. El papel del Si debe plantearse como parte de una defensa multivía: resistencia de tejidos, lignificación, metabolismo fenólico, regulación de ROS y capacidad de respuesta inducida.

EN PROBLEMAS BIÓTICOS, EL Si NO DEBE PRESENTARSE COMO UN FUNGICIDA: DEBE PRESENTARSE COMO UNA HERRAMIENTA QUE MODIFICA LA RESISTENCIA Y LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL HUÉSPED.

9. Firmeza y resistencia mecánica: evidencia directa en arándano

La firmeza define cuánto margen tiene una baya frente a cosecha, manipulación, selección, embalaje, transporte y almacenamiento. Aquí la conexión problema–Si es especialmente directa.

En highbush blueberry cv. Patriot, aplicaciones foliares de Si aumentaron significativamente las propiedades mecánicas del fruto. En los resultados y conclusiones del trabajo, los mejores tratamientos alcanzaron hasta aproximadamente 19% más firmeza y hasta 10% más fuerza destructiva que el control. El ensayo también mostró que las cargas de la cosecha manual se aproximan al umbral crítico de resistencia del tejido [3].

EL Si AUMENTÓ EL MARGEN MECÁNICO ENTRE MANIPULAR EL FRUTO Y DAÑARLO.

Esto conecta directamente el manejo precosecha con la calidad de postcosecha: una fruta físicamente más resistente entra al packing con mayor margen frente a golpes, compresión y pérdida de condición.

10. Deshidratación y postcosecha: conservar lo que el huerto construyó

INIA señala que la pérdida de agua por transpiración es la causa más importante de disminución de firmeza del arándano y sitúa cerca de 1,5% de pérdida de peso fresco un umbral a partir del cual el proceso de pérdida de firmeza puede hacerse irreversible. La herida pedicelar puede explicar entre 20 y 60% de la pérdida total de agua, según variedad [8].

El aporte del Si aparece por dos vías. La primera es precosecha: mayor firmeza y resistencia mecánica antes de entrar a packing [3]. La segunda es evidencia convergente postcosecha: en cv. Emerald, recubrimientos con silicatos y sus combinaciones mejoraron firmeza, vida útil y pérdida de peso respecto del control, con respuesta dependiente de la formulación y la temperatura [9].

EL PACKING PUEDE CONSERVAR LA CALIDAD. NO PUEDE FABRICAR DESPUÉS DE COSECHA LA FIRMEZA, LA ESTRUCTURA Y LA CAPACIDAD DEFENSIVA QUE EL HUERTO NO CONSTRUYÓ.

11. MULTI: una sola cadena, múltiples vías de protección

La transversalidad del Si en arándano no consiste en sumar beneficios aislados. Consiste en intervenir en distintos eslabones que terminan definiendo el mismo resultado comercial.

RAÍZ + AGUA + K Y BALANCE IÓNICO + SALINIDAD + ESTRUCTURA + DEFENSA INDUCIDA + CRECIMIENTO + FIRMEZA + POSTCOSECHA.

Una raíz que conserva función sostiene mejor agua y nutrición. Una planta con mayor capacidad de respuesta enfrenta mejor el estrés biótico. Una fruta más resistente llega a cosecha con mayor margen físico. Y una fruta que entra mejor a postcosecha tiene mayores posibilidades de conservar condición hasta destino.

LA TRANSVERSALIDAD DEL Si NO ESTÁ EN SUMAR BENEFICIOS. ESTÁ EN PROTEGER DISTINTOS ESLABONES DEL MISMO RESULTADO.

12. Disponibilidad: AOS

El Si absorbible se encuentra principalmente como ácido ortosilícico (H_4SiO_4) en solución. Por eso, Si total en el sistema y Si fisiológicamente disponible no son sinónimos. Para una estrategia basada en Si, la disponibilidad de AOS es el punto químico que permite que los mecanismos descritos puedan expresarse.

Dentro del programa, SiliGreen aporta AOS estabilizado y biodisponible. La función de esta sección es precisar la forma disponible; no convertir el capítulo en una discusión extensa de fuentes.

13. Chile 3.0: lectura por macrozonas

Macrozona	Presiones que ganan peso	Ejes Si de mayor interés
O'Higgins–Maule	Calor, radiación, déficit hídrico, CE localizada, firmeza	Agua, salinidad, membranas, crecimiento, firmeza
Ñuble–Biobío	Calor estival, Botrytis, pudriciones, Phytophthora, postcosecha	Agua, defensa inducida, estructura, firmeza
Araucanía–Los Ríos–Los Lagos	Humedad, heladas, Botrytis, hongos de madera, viaje prolongado	Defensa, tejidos, firmeza, condición postcosecha

La presión dominante cambia entre zonas y temporadas. La lógica transversal permanece: el valor del Si aumenta cuando una misma herramienta puede proteger diferentes funciones según cuál sea el eslabón limitante de esa temporada.

14. Preguntas para el asesor técnico

- ¿Dónde se está rompiendo hoy la cadena: raíz, agua, salinidad, sanidad, firmeza o postcosecha?
- ¿Cuál es la CE real del agua y del bulbo o sustrato, y existe evidencia de acumulación de Na?
- ¿Cómo se comportan K y la relación Na/K en los sectores problemáticos?
- ¿Qué porcentaje de fruta pierde firmeza o sufre daño mecánico antes de destino?
- ¿Cuál es la presión real de Botrytis y otras pudriciones desde floración hasta almacenamiento?
- ¿Existen síntomas de Phytophthora o enfermedades de madera que estén reduciendo la estructura productiva?
- ¿El programa actual sólo reacciona después del daño o también fortalece la capacidad de la planta para resistir varios estreses?

15. Conclusión

El arándano no presenta un único problema que el Si deba resolver. Presenta una cadena de vulnerabilidades en la que varias respuestas del Si ya están demostradas directamente en la especie.

Cuando el problema es salinidad, existe evidencia directa de mejor estado hídrico, clorofila, estabilidad de membranas y relación Na/K [2]. Cuando el problema es firmeza, existe evidencia directa de mejoras de hasta aproximadamente 19% en los mejores tratamientos foliares evaluados [3]. Cuando el desafío es sanitario, el Si combina estructura con priming y redes de defensa que incluyen PAL, POD, PPO, quitinasas, β-1,3-glucanasas y señalización SA/JA/ET [4]; y en blueberry tratado en precosecha con silicato se observó menor pudrición natural postcosecha en dos de tres temporadas [6].

FRENTE AL ESTRÉS ABIÓTICO, EL Si AYUDA A CONSERVAR FUNCIÓN. FRENTE AL ESTRÉS BIÓTICO, REFUERZA ESTRUCTURA Y POTENCIA DEFENSA. SOBRE EL FRUTO, AUMENTA EL MARGEN FÍSICO QUE DEBE CONSERVARSE DURANTE COSECHA Y POSTCOSECHA.

EL OBJETIVO NO ES SÓLO PRODUCIR FRUTA. ES CONSTRUIR, DESDE LA RAÍZ Y DURANTE TODA LA TEMPORADA, UNA FRUTA CAPAZ DE CONSERVAR SU CONDICIÓN HASTA DESTINO.

Bibliografía

[1] Ferrón-Carrillo, F. et al. (2022). Silicon enhances production and quality of blueberry fruits (Vaccinium corymbosum L.). Journal of Plant Nutrition 45(10):1563–1571. DOI: 10.1080/01904167.2021.2014874. Enlace

[2] Moreno Segama, Y. (2026). Estimulante a base de silicio en la tolerancia a salinidad del arándano (Vaccinium corymbosum L. cv. Biloxi). Universidad Nacional Agraria La Molina. Enlace

[3] Cieniawska, B. et al. (2026). Effectiveness of Foliar Silicon Fertilisation on Quality Attributes of Highbush Blueberry (Vaccinium corymbosum L.). Agronomy 16(5):525. DOI: 10.3390/agronomy16050525. Enlace

[4] Wang, M. et al. (2017). Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. Frontiers in Plant Science 8:701. Enlace

[5] Effect of Ethanol Vapor Treatment on the Growth of Alternaria alternata and Botrytis cinerea and Defense-Related Enzymes of Fungi-Inoculated Blueberry During Storage (2021). Enlace

[6] Effects of Preharvest Application of Acibenzolar-S-Methyl and Potassium Silicate on Postharvest Diseases and Fruit Quality of Blueberries. PhytoFrontiers. DOI: 10.1094/PHYTOFR-10-24-0116-R. Enlace

[7] INIA Quilamapu (2026). Investigadores desarrollan inoculante biológico para enfrentar hongos de la madera en árboles frutales. Enlace

[8] INIA. Boletín N°477. Calidad y manejo de postcosecha de arándanos: pérdida de agua, firmeza y herida pedicelar. Enlace

[9] Kazemi, H., Roosta, H.R. & Bikdeloo, M. (2026). Effects of aloe vera and silicate edible coatings on ‘Emerald’ blueberry stored at different temperatures. Scientific Reports. DOI: 10.1038/s41598-026-61408-7. Enlace