BIBLIOTECA DE SILICIO

CT-NG | CHILE 3.0

PALTO HASS

Raíz, agua, nutrición, sanidad y permanencia productiva

EN PALTO, LA PROTECCIÓN DEL RESULTADO COMIENZA EN LA RAÍZ Y TERMINA EN LA CAPACIDAD DEL ÁRBOL DE SEGUIR PRODUCIENDO.

1. EL PROBLEMA PRODUCTIVO

Chile mantiene aproximadamente 32.918 ha de palto, equivalentes al 8,6% de la superficie frutícola nacional. La producción se concentra principalmente en la zona centro-norte, donde el cultivo convive con disponibilidad hídrica limitada, agua de calidad variable, salinidad, heladas, plantaciones en laderas, problemas radicales y enfermedades de madera.

La particularidad del palto no está en enfrentar una sola presión. Está en que muchas de ellas terminan afectando los mismos componentes del sistema: raíz, agua, nutrición, copa, madera productiva y fruto.

El déficit hídrico compromete crecimiento y calibre. La salinidad reduce el funcionamiento radical y la asimilación de carbono. Phytophthora cinnamomi destruye raíces y puede llevar al decaimiento del árbol. Las heladas dañan fruta, hojas, brotes y madera. Los hongos de Botryosphaeriaceae pueden causar cancros y muerte regresiva. Y algunos de los mismos complejos sanitarios que afectan al árbol durante la temporada pueden expresarse después como pérdida de calidad y pudriciones en postcosecha.

EL PALTO NO SÓLO NECESITA PRODUCIR FRUTA. NECESITA CONSERVAR UN SISTEMA RADICAL Y UNA ESTRUCTURA PRODUCTIVA CAPACES DE REPETIR ESA PRODUCCIÓN DURANTE AÑOS.

2. UNA FISIOLOGÍA MUY CORTA: RAÍZ → COPA → FRUTO

La relación productiva central puede resumirse sin convertir el capítulo en una clase de fisiología vegetal:

RAÍZ → AGUA Y NUTRIENTES → FOTOSÍNTESIS Y COPA → FRUTO → PRODUCCIÓN FUTURA

Cuando el sistema radical se deteriora, disminuye el acceso a agua y nutrientes. Cuando disminuye la transpiración funcional, también disminuye la absorción de elementos como Ca. Cuando la copa pierde hojas o madera productiva, cae la capacidad fotosintética y se reduce la superficie capaz de sostener la cosecha.

INIA ha destacado la conexión entre desarrollo radical, transpiración, fotosíntesis y calidad del fruto, señalando que déficit o exceso de agua, salinidad y baja densidad o profundidad de raíces pueden afectar rendimiento y calidad.

EN PALTO, LA RAÍZ ES EL PRIMER COMPONENTE DEL CAPITAL PRODUCTIVO.

3. PHYTOPHTHORA: EL EJE SANITARIO DE LA RAÍZ

La pudrición de raíces causada por Phytophthora cinnamomi constituye una de las principales limitaciones sanitarias del palto. La enfermedad destruye raíces absorbentes, deteriora

progresivamente el follaje, reduce el tamaño de fruto y puede terminar en decaimiento severo y muerte del árbol.

MENOS RAÍCES FUNCIONALES → MENOR ACCESO A AGUA Y NUTRIENTES → MENOR COPA → MENOR FOTOSÍNTESIS → MENOR PRODUCCIÓN → MENOR CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN

3.1. SILICIO Y PHYTOPHTHORA: EVIDENCIA DIRECTA EN ÁRBOLES ADULTOS

En árboles comerciales de palto de 13 años infectados con P. cinnamomi, aplicaciones sucesivas de silicio soluble vía suelo produjeron mayor densidad radical que los árboles no tratados durante la mayoría de las evaluaciones. El tratamiento con aplicaciones repetidas presentó la respuesta más consistente y fue acompañado por mejor condición de copa y mayor concentración de fenoles solubles.

Si → MAYOR DENSIDAD RADICAL → MAYOR VOLUMEN EXPLORABLE → MAYOR CAPACIDAD DE ACCESO A AGUA Y NUTRIENTES → MEJOR SOPORTE DE LA COPA.

En otro trabajo con Hass inoculado con P. cinnamomi se observó activación temprana de enzimas defensivas relacionadas con estrés oxidativo y componentes estructurales, incluyendo peroxidasa y polifenol oxidasa. Esto sitúa al Si como herramienta fisiológica complementaria dentro del manejo integrado de la enfermedad.

Frente a Phytophthora aparecen, por tanto, dos niveles de acción especialmente relevantes: conservar o reconstruir raíz funcional y activar la capacidad defensiva del árbol.

4. CUANDO EL SUELO ES POCO, CADA RAÍZ VALE MÁS

Esta relación tiene especial importancia para Elqui, laderas y piedemontes. El punto productivo es sencillo: en sectores con menor volumen efectivo de suelo existe menos espacio radical, menor reserva de agua y nutrientes y mayor sensibilidad a variaciones de humedad y salinidad.

CUANDO EL VOLUMEN DE SUELO DISPONIBLE ES LIMITADO, CADA CENTÍMETRO DE RAÍZ FUNCIONAL ADQUIERE MÁS VALOR.

La evidencia de mayor densidad radical observada en palto con Si adquiere aquí una importancia especial. El Si no crea centímetros de suelo: puede contribuir a aumentar la capacidad de explorar y utilizar mejor el volumen que efectivamente existe.

5. RAÍZ, NUTRICIÓN Y POTASIO

Una raíz más desarrollada no sólo accede a más agua. También explora un mayor volumen de nutrientes. La literatura sobre interacciones entre Si y nutrición mineral muestra efectos sobre adquisición, transporte y utilización de diversos elementos, incluyendo N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes.

La interacción con K es particularmente interesante para palto. El potasio participa en regulación osmótica, funcionamiento estomático, movimiento de agua, transporte, fotosíntesis y crecimiento del fruto.

La evidencia acumulada muestra que el Si puede favorecer la absorción y utilización de K, especialmente bajo condiciones de estrés o disponibilidad reducida. Un metaanálisis publicado en 2026, basado en 183 observaciones, encontró incrementos significativos en eficiencia de uso de K, eficiencia de uso de agua, fotosíntesis y actividad antioxidante cuando se suministró Si bajo deficiencia de K.

Además, la concentración de K en el xilema participa directamente en el gradiente osmótico y la conductancia hidráulica radical. La literatura Si-K muestra regulación del transporte de K hacia el xilema como uno de los mecanismos asociados a una mejor relación hídrica.

MAYOR RAÍZ FUNCIONAL + MEJOR ACCESO A AGUA Y NUTRIENTES + MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE K = MAYOR CAPACIDAD DE SOSTENER CRECIMIENTO Y FRUTO BAJO ESTRÉS.

6. DÉFICIT HÍDRICO: CUANDO LA RAÍZ DEBE SOSTENER LA DEMANDA

En palto, la disponibilidad de agua define buena parte del resultado. INIA ha destacado que déficit hídrico, salinidad, poca profundidad radical y alta demanda atmosférica pueden reducir la transpiración, afectando absorción de agua y Ca, rendimiento y calidad.

El problema puede comenzar antes de que aparezca marchitez visible: menor conductancia estomática, menor asimilación de carbono, menor crecimiento vegetativo y menor crecimiento del fruto.

En cultivos sometidos a sequía, la evidencia general del Si muestra mejoras recurrentes en desarrollo radical, estado hídrico, eficiencia de uso de agua, fotosíntesis y sistemas antioxidantes. En palto infectado con Phytophthora, la recuperación de densidad radical observada con Si agrega una dimensión especialmente relevante: parte de la tolerancia hídrica comienza simplemente por disponer de más raíz capaz de captar agua.

7. SALINIDAD: AGUA PRESENTE, PERO MENOS DISPONIBLE

El palto es particularmente sensible a salinidad. Trabajos desarrollados en Chile sobre Hass y distintos portainjertos muestran que el aumento de NaCl afecta crecimiento, intercambio gaseoso y distribución de Cl y Na, con diferencias importantes entre portainjertos en capacidad de exclusión y tolerancia.

Otros estudios en Hass muestran que el estrés salino puede reducir de forma importante el crecimiento de raíces y parte aérea. La importancia del K vuelve a aparecer en este escenario,

porque la salinidad aumenta la competencia entre Na y K y puede alterar la homeostasis iónica y el funcionamiento radical.

La literatura general sobre Si muestra respuestas relevantes en balance Na/K, capacidad antioxidante, protección de fotosíntesis, regulación de agua y mejor utilización de K.

SALINIDAD NO ES SOLAMENTE UN PROBLEMA DE SALES. ES UN PROBLEMA DE RAÍZ, AGUA, NUTRICIÓN Y FOTOSÍNTESIS AL MISMO TIEMPO.

8. HELADAS: PROTEGER TEJIDOS Y CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN

Las heladas son una de las presiones más severas para Hass en determinadas zonas chilenas. INIA documenta en el Valle del Elqui eventos del orden de -2 a -4 °C capaces de dañar severamente árboles y frutos. Este riesgo explica, en parte, el desplazamiento de plantaciones hacia laderas con mejor drenaje de aire frío.

Una helada puede afectar simultáneamente hojas, brotes, flores, fruto y madera productiva. Cuando el daño alcanza madera, el árbol debe reconstruir estructura antes de recuperar completamente su capacidad productiva.

La literatura sobre Si frente a bajas temperaturas muestra mecanismos consistentes asociados a mayor estabilidad de membranas, fortalecimiento de pared celular, capacidad antioxidante, acumulación de osmoprotectores y menor daño por frío. En palto, este bloque debe leerse además en combinación con la sanidad de madera, porque el daño físico severo deja tejido que después debe reconstruirse y defenderse.

9. MUERTE REGRESIVA Y HONGOS DE MADERA

En Chile, la muerte regresiva del palto no corresponde a un único agente. Un estudio realizado en huertos Hass de las principales regiones productoras identificó ocho especies de Botryosphaeriaceae asociadas a cancros, muerte regresiva y pudrición peduncular: Diplodia mutila, D. pseudoseriata, D. seriata, Dothiorella iberica, Lasiodiplodia theobromae, Neofusicoccum australe, N. nonquaesitum y N. parvum.

N. nonquaesitum, N. parvum y D. pseudoseriata estuvieron entre las especies más agresivas sobre madera. Además, N. australe fue confirmado previamente como agente de muerte regresiva en palto Hass en Chile. Ese reporte coincidió con años de sequía y daño por heladas, un contexto relevante para entender la interacción entre estrés y enfermedad.

ESTRÉS O LESIÓN DE TEJIDO → ESTABLECIMIENTO DEL PATÓGENO → CANCROS → MUERTE DE RAMILLAS → PÉRDIDA DE RAMAS → MENOR COPA PRODUCTIVA → MENOR CAPACIDAD DE SOSTENER FRUTA

EL PALTO PUEDE PERDER CAPACIDAD PRODUCTIVA POR ABAJO, CUANDO PIERDE RAÍCES, Y POR ARRIBA, CUANDO PIERDE MADERA PRODUCTIVA.

10. EL VÍNCULO ENTRE MADERA Y POSTCOSECHA

Las Botryosphaeriaceae no se limitan a producir cancros y muerte regresiva. Investigaciones chilenas demostraron su capacidad de provocar pudrición peduncular en fruta Hass. Lasiodiplodia theobromae, N. australe y N. parvum estuvieron entre los aislados más agresivos sobre fruto.

Chile también ha confirmado especies de Neofusicoccum como agentes de pudrición peduncular en palta Hass.

MADERA → SANIDAD DEL ÁRBOL → FRUTO → POSTCOSECHA.

Un problema que comenzó en la estructura del huerto puede terminar manifestándose después de cosechar. Esto constituye transversalidad sanitaria real.

11. SILICIO Y DEFENSA EN EL SISTEMA PALTO-HONGO

La literatura específica del sistema palto-hongo muestra que el Si puede intervenir mediante dos niveles complementarios: fortalecimiento estructural y defensa bioquímica.

Fortalecimiento estructural

La deposición y asociación del Si con tejidos y pared celular puede aumentar la resistencia física frente a penetración y degradación.

Defensa bioquímica

En palto se han descrito respuestas relacionadas con peroxidasa, polifenol oxidasa, fenilalanina amonio-liasa, quitinasas, β-1,3-glucanasas, antioxidantes y fenoles. Estas respuestas han sido estudiadas tanto frente a P. cinnamomi como en el sistema palto-Colletotrichum.

La defensa, por tanto, no debe entenderse como una reacción frente a un único patógeno, sino como fortalecimiento de la capacidad de respuesta del tejido frente a diferentes presiones bióticas.

12. FRUTO Y POSTCOSECHA: EVIDENCIA DIRECTA EN PALTA

La evidencia de Si en palta no termina en la raíz. En frutos de palta, aplicaciones de Si en postcosecha produjeron respuestas favorables sobre pérdida de peso, integridad de membranas, peroxidación lipídica, fenoles, actividad de catalasa y calidad general del fruto.

Ensayos en Hass también mostraron reducciones importantes en severidad de antracnosis con determinados tratamientos de Si, junto con aumentos de vida útil. La literatura del sistema palto-hongo describe además deposición de Si bajo la cutícula y activación de enzimas defensivas relacionadas con resistencia frente a Colletotrichum gloeosporioides.

TEJIDO + ANTIOXIDANTES + DEFENSA + CALIDAD + VIDA POSTCOSECHA.

Para Chile esta dimensión es especialmente relevante por la distancia a mercados y por la importancia creciente de sostener calidad durante transportes prolongados.

13. GOLPE DE SOL Y COPA FUNCIONAL

El golpe de sol no debe analizarse solamente como exposición térmica del fruto. En palto puede ser también consecuencia de una pérdida previa de copa. Phytophthora, estrés hídrico, heladas o muerte regresiva pueden reducir follaje y abrir la estructura del árbol, dejando frutos más expuestos.

PROBLEMA RADICAL O DE MADERA → MENOR FOLLAJE → MAYOR EXPOSICIÓN → AUMENTO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL FRUTO → PÉRDIDA DE CALIDAD

Una misma pérdida comercial puede, por tanto, tener varios orígenes fisiológicos y sanitarios diferentes.

14. MULTI: LA CONVERGENCIA

Presión	Función comprometida	Respuesta asociada al Si
Phytophthora	Raíces	Densidad radical + defensa
Poco volumen de suelo	Exploración	Mayor raíz funcional
Déficit hídrico	Agua / fotosíntesis	Raíces + relaciones hídricas + antioxidantes
Salinidad	Raíz / iones / agua	Balance iónico + K + antioxidantes
Baja disponibilidad de K	Nutrición	Mayor eficiencia de uso de K
Heladas	Tejidos	Estructura + antioxidantes + osmoprotección
Hongos de madera	Madera / defensa	Fortalecimiento + defensa inducida
Antracnosis	Fruto	Estructura + enzimas defensivas
Postcosecha	Membranas / tejidos	Antioxidantes + integridad
Deterioro acumulativo	Árbol completo	Convergencia de mecanismos

La importancia de esta matriz no está en sumar beneficios. Está en demostrar que el mismo árbol enfrenta muchas presiones diferentes, pero dispone de funciones comunes que determinan cuánto daño termina sufriendo.

15. LA TRANSVERSALIDAD PROPIA DEL PALTO

RAÍZ → AGUA → NUTRICIÓN → COPA → FRUTO → PERMANENCIA PRODUCTIVA.

El Si puede intervenir en distintos puntos de esa cadena: raíz, agua, K y otros nutrientes, fotosíntesis, antioxidantes, tejidos, defensa y fruto. Por eso no depende de una única respuesta.

LA TRANQUILIDAD DEL SILICIO ESTÁ EN SU TRANSVERSALIDAD: NO DEPENDE DE UNA SOLA RESPUESTA, TIENE MÚLTIPLES FORMAS DE PROTEGER EL RESULTADO.

PROTEGER LA RAÍZ QUE ALIMENTA EL ÁRBOL Y PROTEGER LA ESTRUCTURA QUE PRODUCE LA FRUTA.

16. DISPONIBILIDAD: DEL Si DEL SUELO AL Si QUE UTILIZA LA PLANTA

La presencia de Si en un suelo no equivale automáticamente a disponibilidad fisiológica. En solución, la forma utilizada por la planta es fundamentalmente ácido ortosilícico (H_4SiO_4), la especie soluble disponible para absorción radical.

Si TOTAL Y Si FUNCIONALMENTE DISPONIBLE NO SON LO MISMO.

Dentro del programa productivo, SiliGreen entrega AOS biodisponible, incorporando Si directamente a la estrategia fisiológica del huerto. La ciencia del capítulo habla de Si y AOS; el programa comercial traduce esa ciencia en una herramienta disponible para manejo.

17. CHILE 3.0: MACROZONAS

COQUIMBO / ELQUI

Volumen efectivo de suelo, laderas, disponibilidad de agua, salinidad, heladas y alta demanda atmosférica hacen especialmente importante la relación raíz + agua + nutrición + protección frente a temperaturas extremas.

VALPARAÍSO

La principal zona productora combina alta presión hídrica, Phytophthora, calidad de agua, salinidad, huertos en laderas y problemas de madera.

REGIÓN METROPOLITANA

La variabilidad de suelo y agua, temperaturas estivales, heladas en determinados sectores, salinidad y sanidad radical condicionan vigor y estabilidad productiva.

O'HIGGINS

La expansión hacia ambientes más fríos aumenta la importancia de temperaturas bajas, drenaje, enfermedades radicales y protección de madera.

LOS AMBIENTES CAMBIAN. LA CADENA QUE SOSTIENE AL ÁRBOL PERMANECE: RAÍZ + AGUA + NUTRICIÓN + COPA + FRUTO.

18. CONSECUENCIA PRODUCTIVA

CONSERVAR RAÍZ

densidad + exploración + agua + nutrientes

CONSERVAR FUNCIÓN

fotosíntesis + agua + balance iónico + antioxidantes

CONSERVAR ESTRUCTURA

hojas + ramas + tejidos + fruto

CONSERVAR CAPACIDAD DE RESPUESTA

defensa frente a patógenos + estrés abiótico + recuperación

Estos niveles convergen sobre vigor, calibre, calidad, sanidad, recuperación y permanencia productiva. Aquí se conecta este capítulo con el Dossier Económico Palto Chile 3.0: el capítulo técnico explica cómo y dónde puede intervenir el Si; el dossier determina cuánto vale proteger ese sistema.

19. PREGUNTAS PARA EL ASESOR TÉCNICO

1. ¿Dónde está hoy la principal limitación del huerto: raíz, agua, nutrición, copa o fruta?
2. ¿Existe deterioro progresivo de raicillas o síntomas asociados a Phytophthora?
3. ¿Qué densidad y volumen radical efectivo tiene el árbol?
4. ¿Cómo cambia ese volumen en laderas, piedemontes o sectores con menor profundidad?
5. ¿Qué calidad y salinidad presenta el agua de riego?
6. ¿Qué portainjerto se utiliza y qué comportamiento presenta frente a sales?
7. ¿Existen síntomas de desequilibrio de K, Ca u otros nutrientes asociados a estrés radical?
8. ¿En qué etapas aparece la mayor restricción hídrica?
9. ¿Qué historial de daño por heladas presenta el predio?
10. ¿Existe muerte regresiva, cancros o pérdida de ramas productivas?
11. ¿Qué incidencia presentan pudrición peduncular y antracnosis?
12. ¿Cuánto follaje se pierde por problemas radicales o de madera?
13. ¿Qué proporción de fruta queda expuesta a golpe de sol?

14. ¿El programa actual actúa exclusivamente sobre cada problema individual o también fortalece transversalmente la capacidad de respuesta del árbol?

20. CONCLUSIÓN

El palto Hass concentra una combinación particularmente exigente de presiones. Puede perder raíz por Phytophthora; capacidad hídrica por sequía, salinidad o poco volumen de suelo; eficiencia nutricional cuando la raíz deja de explorar y absorber adecuadamente; copa y madera productiva por heladas y muerte regresiva; y calidad después de cosecha por patógenos que incluso forman parte del mismo complejo sanitario presente en el árbol.

La evidencia directa en palto muestra que el Si puede aumentar densidad radical bajo presión de Phytophthora, activar mecanismos de defensa, mejorar condición de copa, fortalecer tejidos y modificar respuestas antioxidantes y postcosecha. La evidencia convergente agrega su papel sobre agua, salinidad, K, temperaturas extremas, fotosíntesis y estrés oxidativo.

EN PALTO, EL SILICIO PROTEGE LA CAPACIDAD DEL ÁRBOL DE SEGUIR EXPLORANDO, ABSORBIENDO, DEFENDIÉNDOSE Y PRODUCIENDO.

CUANDO EL SUELO DISPONIBLE ES ESCASO, CADA CENTÍMETRO DE RAÍZ FUNCIONAL VALE MÁS.

EL PALTO PUEDE PERDER CAPACIDAD PRODUCTIVA POR ABAJO, CUANDO PIERDE RAÍCES, Y POR ARRIBA, CUANDO PIERDE MADERA PRODUCTIVA.

Entre ambos extremos está toda la producción.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

ODEPA. 2026. Boletín de fruta, marzo 2026. Catastro Frutícola ODEPA-CIREN, actualización 2025. Enlace

INIA La Platina. 2025. Calidad global de palta Hass: bases para responder a los desafíos de manejo y postcosecha. Enlace

Bekker, T.F. et al. 2014. Effects of soil drenching of water-soluble potassium silicate on commercial avocado trees infected with Phytophthora cinnamomi. South African Journal of Plant and Soil 31:101-107. DOI 10.1080/02571862.2014.912687. Enlace

Resistance induction with silicon in Hass avocado plants inoculated with Phytophthora cinnamomi. 2023. Enlace

Valencia, A.L. et al. 2019. Characterization and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species obtained from avocado trees with branch canker and dieback and from avocado fruit with stem-end rot in Chile. Plant Disease 103:996-1005. Enlace

Auger, J. et al. 2013. First report of Neofusicoccum australe as a branch dieback pathogen of avocado trees in Chile. Plant Disease 97:842. Enlace

Castro, M. et al. 2009. Rootstock effect on the tolerance of cv. Hass avocado plants to NaCl stress. Chilean Journal of Agricultural Research 69:316-324. Enlace

Bonomelli, C. et al. 2018. Salt stress effects on avocado plants. Agronomy 8:64. DOI 10.3390/agronomy8050064. Enlace

Pavlovic, J. et al. 2021. Interactions of Silicon With Essential and Beneficial Elements in Plants. Frontiers in Plant Science 12:697592. Enlace

da Rocha Prado, E. et al. 2026. Silicon alleviates potassium deficiency by improving photosynthesis, antioxidant defenses, water use efficiency and potassium use efficiency: a meta-analysis. Enlace

Tesfay, S.Z., Bertling, I. & Bower, J.P. 2011. Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other antioxidant systems aligned to avocado fruit quality. Postharvest Biology and Technology 60:92-99. Enlace

Dann et al. 2017. Effects of Silicon Amendment on Soilborne and Fruit Diseases of Avocado. Plants 6:51. Enlace

INIA Intihuasi. Factores ambientales a considerar en el cultivo de paltos en el Valle del Elqui. Enlace