BIBLIOTECA DE SILICIO

CHILE 3.0

CÍTRICOS

Protección transversal de raíces, agua, tejidos, sanidad y permanencia productiva

LA FORTALEZA DEL SILICIO EN CÍTRICOS NO ESTÁ EN UNA SOLA RESPUESTA. ESTÁ EN PROTEGER VARIAS FUNCIONES QUE, JUNTAS, SOSTIENEN EL RESULTADO.

1. EL PROBLEMA PRODUCTIVO

La citricultura chilena mantiene una superficie relevante y creciente. En 2025, mandarino, limonero y naranjo sumaron aproximadamente 29.548 ha, concentradas principalmente entre Coquimbo y O'Higgins.

El desafío productivo de estos huertos no consiste simplemente en formar una cosecha.

El árbol debe conservar durante muchos años:

RAÍCES FUNCIONALES + DISPONIBILIDAD Y REGULACIÓN DE AGUA + SUPERFICIE FOTOSINTÉTICA + INTEGRIDAD DE TEJIDOS + CAPACIDAD DEFENSIVA + CRECIMIENTO DEL FRUTO + CALIDAD COMERCIAL + PERMANENCIA PRODUCTIVA

Sobre estas funciones actúan simultáneamente presiones diferentes.

Déficit hídrico, salinidad, temperaturas extremas, hipoxia, deterioro radical, Phytophthora, conchuelas, escamas, chanchitos blancos, mosquitas blancas, fumagina y enfermedades de copa pueden terminar convergiendo sobre los mismos puntos fisiológicos: menos raíz activa, menor fotosíntesis, mayor estrés oxidativo, pérdida de vigor, menor crecimiento del fruto y menor capacidad de recuperación.

En cítricos, por lo tanto, el problema productivo no es uno.

Es la superposición de presiones sobre un árbol perenne que debe seguir funcionando temporada tras temporada.

2. LAS FUNCIONES QUE SOSTIENEN EL HUERTO

Cinco componentes concentran gran parte de la capacidad productiva del cítrico.

RAÍZ

Sostiene la absorción de agua y nutrientes, participa en la regulación iónica y condiciona la respuesta frente a sequía, salinidad, hipoxia y enfermedades del suelo.

AGUA

Determina apertura estomática, fotosíntesis, transporte, expansión celular y crecimiento del fruto.

FOTOSÍNTESIS

Sostiene crecimiento vegetativo, desarrollo del fruto, reservas y capacidad productiva futura.

EQUILIBRIO OXIDATIVO

Sequía, salinidad, hipoxia, temperaturas adversas, toxicidades y estrés biótico pueden aumentar la producción de especies reactivas de oxígeno. La capacidad antioxidante determina cuánto de ese estrés termina convirtiéndose en daño celular.

TEJIDOS Y DEFENSA

Epidermis, pared celular, dureza foliar y respuestas bioquímicas defensivas forman parte de la interacción de la planta con insectos y patógenos.

Estas funciones están conectadas.

UNA RAÍZ DETERIORADA AFECTA EL AGUA. MENOS AGUA AFECTA LA FOTOSÍNTESIS. MENOR FOTOSÍNTESIS AFECTA EL FRUTO. MAYOR ESTRÉS OXIDATIVO DETERIORA LOS TEJIDOS. Y TEJIDOS MÁS VULNERABLES AUMENTAN LA PRESIÓN SANITARIA.

Éste es el punto donde la transversalidad adquiere significado fisiológico.

3. RAÍCES Y PHYTOPHTHORA: EL PRIMER NIVEL DE PROTECCIÓN

La raíz merece una posición central en cítricos.

INIA identifica dentro del complejo de Phytophthora a P. nicotianae y P. citrophthora, asociadas a pudrición de raíces finas, pudrición del pie, gomosis y deterioro progresivo del árbol.

Agua libre, períodos prolongados de alta humedad y condiciones favorables del suelo permiten liberación y desplazamiento de zoosporas hacia las zonas de crecimiento radical.

La secuencia productiva puede comenzar mucho antes de que aparezca un árbol aparentemente perdido:

pérdida de raíces finas → menor absorción de agua y nutrientes → menor vigor → reducción de copa funcional → menor crecimiento → menor capacidad de recuperación → decaimiento progresivo

Investigaciones realizadas en Chile han confirmado especies de Phytophthora en sistemas radicales enfermos de cítricos provenientes de huertos de la zona central.

La importancia del problema supera al patógeno individual.

La raíz es el punto donde convergen:

SUELO + AGUA + NUTRICIÓN + OXÍGENO + SANIDAD + CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN

Por eso constituye el primer activo fisiológico del huerto.

3.1. SILICIO Y FUNCIONALIDAD RADICAL

La evidencia en cítricos muestra respuestas consistentes del Si cuando el sistema radical enfrenta diferentes formas de estrés.

En Citrus sinensis sometido a toxicidad por cobre, el Si mejoró desarrollo radical, equilibrio nutricional, funcionamiento fotosintético y respuesta antioxidante.

En portainjertos sometidos a hipoxia se observaron mejoras en metabolismo, osmoprotección y actividad antioxidante.

Bajo salinidad, el Si también ha mostrado respuestas sobre crecimiento radical, relaciones hídricas, regulación iónica y fotosíntesis.

Los factores que originan el estrés cambian.

La función que debe conservarse permanece:

UNA RAÍZ CAPAZ DE SEGUIR ABSORBIENDO, REGULANDO Y RECUPERÁNDOSE.

Ésta es una de las bases de la transversalidad del Si en cítricos.

4. AGUA, SALINIDAD Y ESTRÉS ABIÓTICO

La evidencia específica sobre Si y estrés abiótico en cítricos ha aumentado de forma importante.

Una revisión publicada en 2025 integra trabajos frente a sequía, salinidad y temperaturas adversas, mostrando respuestas recurrentes sobre fotosíntesis, relaciones hídricas, eficiencia de uso del agua, metabolismo antioxidante, estabilidad de tejidos y calidad del fruto.

Para Chile esta interacción tiene particular relevancia.

Gran parte de la citricultura se desarrolla en ambientes mediterráneos y semiáridos donde disponibilidad de agua, calidad de riego y demanda evaporativa condicionan crecimiento y calibre.

El árbol no necesita alcanzar una marchitez severa para comenzar a perder resultado.

La secuencia puede ser:

restricción hídrica → cierre estomático → menor fotosíntesis → menor crecimiento → menor expansión del fruto → menor calibre

Por eso la tolerancia al estrés no es un concepto abstracto. Termina expresándose sobre variables productivas.

4.1. SALINIDAD: UNA RESPUESTA MULTIVÍA

En naranja Valencia sometida a salinidad durante seis meses, el suministro de Si mejoró crecimiento radical, clorofila, estado hídrico y fotosíntesis, y modificó procesos asociados al transporte de sodio y acuaporinas.

La respuesta integra distintos niveles:

RAÍZ → AGUA → REGULACIÓN IÓNICA → CLOROFILA → FOTOSÍNTESIS → CRECIMIENTO.

Ésta es precisamente la característica que interesa en cítricos: una presión puede afectar simultáneamente distintas funciones, y una intervención fisiológica puede actuar sobre varios de esos puntos.

4.2. HIPOXIA: EL OTRO EXTREMO DEL PROBLEMA HÍDRICO

El exceso de agua produce un estrés diferente, pero termina comprometiendo muchas de las mismas funciones.

En tres portainjertos de cítricos sometidos a inundación e hipoxia, los tratamientos con Si favorecieron actividad antioxidante, metabolismo de carbohidratos, acumulación de osmoprotectores y funcionamiento fotosintético, y redujeron indicadores de daño oxidativo.

Sequía e hipoxia son situaciones opuestas desde el punto de vista hídrico.

Sin embargo, ambas terminan comprometiendo metabolismo, fotosíntesis y equilibrio oxidativo.

CAMBIA EL ORIGEN DEL ESTRÉS. PARTE DE LA MAQUINARIA QUE PERMITE SOPORTARLO ES COMPARTIDA.

5. ESTRÉS OXIDATIVO: EL PUNTO DE CONVERGENCIA

Una parte importante de la transversalidad del Si puede explicarse mediante el estrés oxidativo.

Sequía, salinidad, hipoxia, temperaturas adversas, toxicidades y distintas interacciones bióticas pueden aumentar la generación de especies reactivas de oxígeno.

Cuando esa producción supera la capacidad de defensa de la planta aparecen peroxidación de membranas, daño proteico, alteración de cloroplastos, menor fotosíntesis y deterioro celular.

La literatura específica en cítricos registra reiteradamente con Si aumentos de actividad antioxidante y reducción de indicadores de daño oxidativo.

Esto permite entender por qué un mismo elemento puede mostrar respuestas bajo presiones tan diferentes.

No porque los problemas sean iguales, sino porque parte del daño fisiológico que producen converge sobre mecanismos comunes.

6. SANIDAD DE COPA: CONCHUELAS, ESCAMAS Y FUMAGINA

En cítricos, los insectos chupadores ofrecen uno de los ejemplos más claros de daño multivía.

INIA clasifica a la conchuela negra del olivo, Saissetia oleae, como plaga primaria de los cítricos.

El impacto no termina en la extracción de savia.

La producción de mielecilla favorece fumagina sobre hojas y frutos. En ataques intensos se ha descrito además menor crecimiento de ramillas, pérdida de vigor y reducción del rendimiento en temporadas posteriores.

La secuencia puede avanzar como:

insecto chupador → extracción de recursos → mielecilla → fumagina → menor funcionalidad foliar → debilitamiento → fruta manchada → menor condición comercial

Chanchitos blancos, mosquitas blancas y distintas escamas amplían este complejo sanitario.

No existe una sola consecuencia.

Existe una cadena que puede comprometer simultáneamente vigor, fotosíntesis, calidad y productividad futura.

6.1. SILICIO Y ESCAMAS: EVIDENCIA DIRECTA EN CÍTRICOS

Un trabajo publicado en 2026 evaluó Si foliar sobre Unaspis yanonensis en mandarina Satsuma.

Después del establecimiento de las ninfas, el Si redujo el crecimiento poblacional de estadios juveniles y disminuyó la producción de nuevas ninfas por parte de los adultos.

Paralelamente aumentaron dureza foliar y acumulación de Si en el mesófilo.

El resultado permite establecer una conexión particularmente relevante:

Si → MODIFICACIÓN DEL TEJIDO → MAYOR DUREZA → MODIFICACIÓN DE LA INTERACCIÓN PLANTA–INSECTO.

El fitosanitario actúa directamente sobre la plaga.

El Si agrega otra posibilidad: modificar la planta sobre la cual esa plaga intenta establecerse y alimentarse.

No es sustitución. Es complementariedad fisiológica dentro del manejo.

6.2. FUMAGINA: CUANDO LA PLAGA TERMINA AFECTANDO OTRAS FUNCIONES

La fumagina muestra por qué analizar cada problema de manera aislada resulta insuficiente.

Su origen inmediato puede estar en la mielecilla producida por insectos chupadores.

Pero sus consecuencias se extienden a superficie foliar, fotosíntesis, vigor, apariencia del fruto y calidad comercial.

Por eso el Si no necesita actuar directamente sobre la fumagina para participar dentro de esta cadena.

Puede hacerlo antes: fortaleciendo tejidos, modificando la interacción insecto–planta y aumentando estabilidad fisiológica del follaje.

Ésta es la lógica MULTI.

7. ENFERMEDADES DE COPA Y DEFENSA VEGETAL

El Si puede participar en la defensa frente a patógenos mediante dos componentes principales:

ESTRUCTURAL

Fortalecimiento de epidermis, paredes celulares y barreras físicas.

BIOQUÍMICO

Activación de enzimas, antioxidantes y metabolitos relacionados con defensa.

La literatura especializada en cítricos documenta ambos componentes.

ALTERNARIA

En mandarinos sometidos posteriormente a inoculación con Alternaria alternata, tratamientos con Si redujeron la severidad de la enfermedad.

Los análisis mostraron además deposición de Si asociada a tejidos epidérmicos.

Esto vuelve a conectar dos capas: estructura + defensa.

La sanidad aparece así como otra dimensión de una respuesta que también interviene en tejidos, antioxidantes y estabilidad fisiológica.

8. TEJIDOS, FRUTO Y CALIDAD

El resultado del huerto no termina cuando el fruto se forma.

Para transformarse en resultado comercial debe conservar integridad, tamaño, condición, composición y apariencia.

Un trabajo publicado en 2024 evaluó aplicaciones foliares de Si en un material cítrico susceptible a cracking.

En el período de mayor incidencia:

CONTROL: 18,29% DE FRUTA PARTIDA | TRATAMIENTO DESTACADO CON Si: 6,25%.

El tratamiento estuvo acompañado por menor actividad de poligalacturonasa, menor pectina soluble, mayor actividad de superóxido dismutasa y menor malondialdehído. También se observaron mejoras en distintos parámetros de calidad.

PARED CELULAR + ANTIOXIDANTES + INTEGRIDAD DEL FRUTO + CALIDAD.

Por eso el aporte potencial del Si no debe medirse exclusivamente preguntando cuánto fruto adicional se produce.

CUÁNTO DEL FRUTO QUE YA SE PRODUJO CONSERVA SU VALOR HASTA EL FINAL.

9. PERMANENCIA PRODUCTIVA EN UN CULTIVO PERENNE

En cítricos existe una consecuencia que supera la pérdida de una temporada.

Cuando el deterioro afecta de manera severa raíces, tronco, copa o sistema vascular, comienza a comprometerse la permanencia del propio árbol.

Problemas radicales, virus, viroides y enfermedades de decaimiento pueden transformar una pérdida inicialmente fisiológica en pérdida estructural del huerto.

El contexto sanitario sudamericano muestra la magnitud extrema que este fenómeno puede alcanzar. HLB permanece como plaga cuarentenaria ausente de Chile, pero su impacto internacional demuestra claramente que el cítrico puede perder no sólo producción:

PUEDE PERDER EL ÁRBOL QUE LA PRODUCE.

Ésta es también la razón por la que Phytophthora y otros problemas asociados a decaimiento merecen tanta atención.

En un cultivo perenne, proteger funcionalidad significa proteger años futuros de producción.

10. EVIDENCIA CONVERGENTE: UNA MISMA PLANTA, DISTINTAS VÍAS DE PROTECCIÓN

Presión	Respuesta asociada al Si	Función productiva relacionada
Sequía	agua, fotosíntesis, antioxidantes	crecimiento y calibre
Salinidad	raíz, regulación iónica, agua	vigor y funcionamiento
Hipoxia	metabolismo radical, antioxidantes	tolerancia y recuperación
Toxicidad radicular	raíz, nutrición, fotosíntesis	funcionalidad
Insectos chupadores	dureza y estructura del tejido	sanidad de copa
Estrés oxidativo	sistemas antioxidantes	estabilidad celular
Alternaria	estructura + defensa	sanidad
Cracking	pared celular + antioxidantes	fruta comercial
Deterioro acumulativo	convergencia de mecanismos	permanencia productiva

La importancia de esta matriz no está en sumar respuestas.

Está en reconocer que diferentes presiones pueden dañar el resultado a través de funciones compartidas.

Y que el Si dispone de diferentes puntos para intervenir sobre esas funciones.

11. PAPEL DEL SILICIO: MULTI

La evidencia en cítricos permite relacionar al Si con raíces, agua, regulación iónica, fotosíntesis, antioxidantes, estructura de tejidos, integridad de fruto, interacción planta–insecto y mecanismos defensivos.

Ésa es su particularidad.

Un fungicida puede estar dirigido a un patógeno. Un insecticida, a una plaga. Una corrección nutricional, a una deficiencia.

El Si actúa sobre la capacidad de la planta de continuar funcionando cuando distintas presiones intentan reducir esa capacidad.

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

12. DISPONIBILIDAD: SILICIO TOTAL NO ES SILICIO FUNCIONAL

El silicio puede ser abundante en los suelos y, al mismo tiempo, presentar una disponibilidad limitada para la planta.

La forma absorbida es el ácido ortosilícico —H_4SiO_4—.

Su disponibilidad depende de factores como mineralogía, pH, adsorción, polimerización y dinámica del agua en el sistema suelo–raíz.

CONCENTRACIÓN TOTAL DE Si Y SUFICIENCIA FUNCIONAL NO SON EQUIVALENTES.

La estrategia basada en AOS entrega directamente la forma soluble utilizada por la planta.

Dentro del manejo productivo, SiliGreen aporta ácido ortosilícico biodisponible, incorporando Si al programa fisiológico del huerto junto con las herramientas nutricionales y fitosanitarias específicas.

13. CHILE 3.0: MACROZONAS DIFERENTES, FUNCIONES COMUNES

Las presiones dominantes cambian según región, suelo, variedad, portainjerto y temporada.

COQUIMBO

Disponibilidad de agua, calidad de riego, salinidad, funcionamiento radical y calibre adquieren especial importancia.

VALPARAÍSO

Agua, temperatura, calidad de riego, raíces y condición de fruta pueden superponerse durante la temporada.

REGIÓN METROPOLITANA

Altas temperaturas estivales, heterogeneidad de suelos, estrés hídrico y problemas radicales condicionan vigor y respuesta productiva.

O’HIGGINS

Mayor disponibilidad relativa de agua no elimina hipoxia temporal, enfermedades del sistema radical, estrés térmico ni presión sanitaria de copa.

Las condiciones cambian.

Las funciones que sostienen el cultivo se repiten:

RAÍZ + AGUA + FOTOSÍNTESIS + TEJIDOS + DEFENSA + FRUTO.

Ésta es la base que permite utilizar evidencia generada en otras regiones citrícolas cuando estudia los mismos mecanismos fisiológicos relevantes para Chile.

14. CONSECUENCIA PRODUCTIVA

Las respuestas asociadas al Si pueden ordenarse en tres niveles.

CONSERVAR FUNCIÓN

RAÍZ + AGUA + FOTOSÍNTESIS + METABOLISMO ANTIOXIDANTE

CONSERVAR ESTRUCTURA

HOJA + EPIDERMIS + PARED CELULAR + FRUTO

CONSERVAR CAPACIDAD DE RESPUESTA

DEFENSA FRENTE A ESTRÉS BIÓTICO Y ABIÓTICO

Estos niveles convergen finalmente sobre vigor, crecimiento, calibre, fruta comercial, sanidad, recuperación y permanencia productiva.

Aquí se conecta este capítulo con el Dossier Económico Cítricos Chile 3.0.

El capítulo explica cómo y dónde puede intervenir el Si. El dossier económico determina cuánto vale conservar ese resultado.

15. PREGUNTAS PARA EL ASESOR TÉCNICO

1. ¿Dónde se encuentra hoy la principal limitación del huerto: raíz, agua, copa, fruto o sanidad?

2. ¿Existen sectores con menor vigor, pérdida de raíces finas, gomosis o decaimiento progresivo?

3. ¿Cómo se relacionan esos sectores con tipo de suelo, drenaje, riego y portainjerto?

4. ¿Existen períodos críticos de déficit o saturación hídrica?

5. ¿Qué calidad y conductividad presenta el agua de riego?

6. ¿En qué etapa se pierde principalmente crecimiento o calibre?

7. ¿Qué presión presentan conchuelas, escamas, chanchitos blancos y mosquitas blancas?

8. ¿Qué nivel de mielecilla y fumagina presenta el follaje o la fruta?

9. ¿La presión sanitaria está afectando sólo fruta o también vigor y crecimiento de ramillas?

10. ¿Qué enfermedades de raíz o copa condicionan actualmente el programa de protección?

11. ¿Qué porcentaje de árboles debe reemplazarse cada temporada?

12. ¿Cuánto tarda ese replante en recuperar una contribución productiva comparable?

13. ¿El programa actual trabaja exclusivamente sobre cada problema individual o también incorpora herramientas destinadas a fortalecer transversalmente la capacidad de respuesta del árbol?

16. CONCLUSIÓN

El cítrico es un cultivo perenne sometido a una combinación amplia de presiones.

La raíz puede deteriorarse por déficit o exceso de agua, salinidad, toxicidades o enfermedades.

La copa puede perder funcionalidad por insectos chupadores, fumagina, enfermedades o estrés.

El fruto puede perder valor por menor crecimiento, condición o integridad.

Y cuando el deterioro se acumula, puede comprometerse la permanencia productiva del propio árbol.

La evidencia disponible muestra que el Si puede intervenir en múltiples puntos de ese sistema: raíces, agua, regulación iónica, fotosíntesis, antioxidantes, tejidos, defensa, interacción planta–insecto e integridad del fruto.

Ése es el valor de la transversalidad.

No requiere que todas las respuestas aparezcan simultáneamente. Tampoco depende de una sola.

EN CÍTRICOS, EL SILICIO NO PROTEGE UNA ÚNICA RESPUESTA. PROTEGE LA CAPACIDAD DEL ÁRBOL DE SEGUIR RESPONDIENDO.

FRUTA + CALIDAD + SANIDAD + MARGEN + AÑOS DE PRODUCCIÓN.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

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

INIA Intihuasi. Manual de Producción de Cítricos. Enfermedades causadas por Phytophthora, epidemiología y manejo. Enlace

INIA. Plagas de los cítricos: reconocimiento y manejo. Saissetia oleae, fumagina, vigor y rendimiento. Enlace

Da Silva, A.R. et al. 2021. Systematic review of defense responses against Phytophthora and strategies to manage Phytophthora diseases in citrus. Functional Plant Biology 48:963–972. DOI 10.1071/FP20349. Enlace

Mvondo-She, M.A. et al. 2021. A Review on the Role of Silicon Treatment in Biotic Stress Mitigation and Citrus Production. Agronomy 11:2198. DOI 10.3390/agronomy11112198. Enlace

de Souza Junior, J.P. et al. 2025. Mitigating abiotic stress in citrus: the role of silicon for enhanced productivity and quality. Plant Stress 16:100837. DOI 10.1016/j.stress.2025.100837. Enlace

Huang, Z.R. et al. 2026. Silicon mitigates copper toxicity of Citrus sinensis by improving nutrient status, root development, photosynthetic performance and antioxidant response. Scientia Horticulturae 356:114622. Enlace

Hussain, M. et al. 2023. Silicon-induced hypoxia tolerance in citrus rootstocks associated with modulation in polyamine metabolism. Scientia Horticulturae 318:112118. Enlace

Wang, T. et al. 2024. Mitigating citrus fruit cracking: the efficacy of chelated calcium or silicon foliar fertilizers in ‘Okitsu no. 58’ citrus fruit. Frontiers in Plant Science 15:1402945. DOI 10.3389/fpls.2024.1402945. Enlace

Gao, S. & Tuda, M. 2026. Contrasting effects of foliar silicon application on a citrus scale insect through tissue-specific silica allocation. Pest Management Science. DOI 10.1002/ps.71122. Enlace

SAG. Plagas No Cuarentenarias Reglamentadas en material de propagación de cítricos. Citrus tristeza virus, Citrus psorosis virus y Hop stunt viroid. Enlace

SAG. Huanglongbing de los cítricos (HLB). Estatus cuarentenario y vigilancia en Chile. Enlace