BIBLIOTECA DE SILICIO

DOSSIER ECONÓMICO — CHILE 3.0

CÍTRICOS

Protección transversal del margen, la capacidad productiva y la permanencia del huerto

EL HUERTO CÍTRICO NO SÓLO PUEDE PERDER FRUTA. PUEDE PERDER CAPACIDAD PRODUCTIVA, ÁRBOLES Y AÑOS DE PRODUCCIÓN.

1. EL VALOR QUE ESTÁ EN JUEGO

La citricultura chilena constituye un sistema productivo relevante y en expansión.

En 2025, mandarino, limonero y naranjo sumaron aproximadamente 29.548 ha: 12.095 ha de mandarino, 10.099 ha de limonero y 7.354 ha de naranjo.

Pero el valor económico de un huerto cítrico no depende exclusivamente de las toneladas que produce.

Depende de conservar durante muchos años:

CAPACIDAD RADICAL + SUPERFICIE FOTOSINTÉTICA + VIGOR + CUAJA + CRECIMIENTO DEL FRUTO + CALIBRE + CONDICIÓN + CALIDAD COMERCIAL + SANIDAD + PERMANENCIA PRODUCTIVA

Ésta es una diferencia fundamental respecto de un cultivo anual.

El árbol es parte del capital productivo.

Cuando pierde funcionalidad, el daño puede comenzar como menor rendimiento o calidad. Cuando el deterioro progresa, puede terminar en pérdida de ramas, árboles completos, sectores del cuartel y años necesarios para reconstruir esa capacidad.

2. CÓMO SE PIERDE EL MARGEN EN CÍTRICOS

La pérdida económica no responde a una única causa.

Un mismo huerto puede enfrentar durante la temporada restricciones hídricas, temperaturas adversas, problemas radicales, salinidad, insectos chupadores, fumagina, enfermedades, pérdida de calibre y diferentes costos de protección.

La consecuencia puede expresarse en cuatro niveles.

Nivel	Expresión productiva	Consecuencia económica
1. Calidad	calibre, condición, apariencia, homogeneidad	menor precio o pérdida de categoría
2. Producción	menor cuaja, crecimiento, caída o rendimiento	menos kg comerciales
3. Costo de defensa	controles, rescates, aplicaciones y repeticiones	mayor costo/ha
4. Capital productivo	decaimiento, muerte, eliminación y replante	pérdida de árboles y años de producción

Estas pérdidas no funcionan necesariamente de forma independiente.

Una misma presión puede afectar simultáneamente varias de ellas.

2.1. CALIBRE Y CONDICIÓN: PRODUCIR KILOS NO ES LO MISMO QUE PRODUCIR VALOR

En cítricos frescos, rendimiento total y rendimiento comercial no son equivalentes.

El manejo de agua y nutrición durante floración, cuaja y crecimiento del fruto repercute directamente sobre calibre, homogeneidad, condición y proporción comercializable.

Por ello, una hectárea puede mantener una cantidad semejante de fruta y generar un resultado económico distinto.

La secuencia puede ser:

estrés → menor crecimiento → menor calibre → menor proporción de fruta de alto valor → menor retorno medio por hectárea

EL OBJETIVO ECONÓMICO NO ES SIMPLEMENTE CONSERVAR FRUTA. ES CONSERVAR FRUTA COMERCIALMENTE VALIOSA.

2.2. ESTRÉS HÍDRICO: LA PÉRDIDA PUEDE OCURRIR SIN MORTALIDAD

El agua constituye una de las variables estructurales de la citricultura chilena.

La secuencia de pérdida puede expresarse como:

menor fotosíntesis → menor crecimiento → alteración de cuaja → menor crecimiento del fruto → pérdida de calibre → debilitamiento vegetativo → menor capacidad de recuperación

El estrés no necesita matar al árbol para tener consecuencias económicas. Basta con desplazar una pequeña proporción de fruta desde una categoría de mayor valor hacia otra inferior.

2.3. CONCHUELAS, ESCAMAS, CHANCHITOS Y FUMAGINA

La consecuencia económica de los insectos chupadores puede superar ampliamente el daño directo por alimentación.

La secuencia puede incluir:

succión → pérdida de vigor → mielecilla → fumagina → menor superficie fotosintética funcional → fruta afectada exteriormente → pérdida de categoría → control → repetición de aplicaciones

UN MISMO PROBLEMA SANITARIO PUEDE AFECTAR SIMULTÁNEAMENTE: PRODUCCIÓN + CALIDAD + COSTO.

2.4. EL COSTO DE DEFENDER EL HUERTO

Existe además una pérdida que no aparece directamente sobre la fruta: el costo necesario para impedir que el daño ocurra.

Cada intervención incorpora producto, maquinaria, combustible, operario, agua, depreciación, tiempo y oportunidad de aplicación.

La evaluación económica debe reconocer dos componentes:

Pérdida por daño: valor destruido cuando la presión afecta al cultivo.

Costo de protección: dinero invertido para evitar que ese daño ocurra.

Ambos disminuyen margen.

3. LA PÉRDIDA DE CAPITAL PRODUCTIVO

Ésta constituye una de las características económicas más importantes del cítrico.

Phytophthora spp. puede producir pudrición radical, gomosis, pérdida de raíces finas, menor crecimiento, pérdida de vigor y decaimiento progresivo.

Aquí cambia la escala económica.

Un árbol afectado puede atravesar tres estados:

Estado	Expresión	Resultado económico
Funcionalmente afectado	menor raíz, vigor o follaje	menor productividad
Severamente decaído	menor copa y producción	fuerte pérdida + manejo
Muerto/eliminado	desaparición del árbol	pérdida total + replante + recuperación

Cuando muere un árbol adulto no desaparece solamente la producción de esa temporada.

Comienza una nueva secuencia:

eliminación → compra de planta → replante → establecimiento → formación → años de producción parcial → recuperación gradual de la capacidad productiva

A esto se agrega la heterogeneidad del cuartel: árboles adultos productivos conviven con plantas jóvenes, sectores debilitados o espacios improductivos.

Por eso:

LA MORTALIDAD NO ES SOLAMENTE PÉRDIDA DE RENDIMIENTO. ES PÉRDIDA DE CAPITAL PRODUCTIVO.

3.1. CUÁNTO REPRESENTA PERDER UNA PEQUEÑA FRACCIÓN DEL HUERTO

Para visualizar la escala económica utilizamos un escenario de referencia:

Producción: 40.000 kg/ha

Retorno equivalente: CL$500/kg

Valor productivo: CL$20.000.000/ha

Capacidad productiva perdida	Producción anual comprometida	Valor anual equivalente
1%	400 kg/ha	CL$200.000/ha
2%	800 kg/ha	CL$400.000/ha
5%	2.000 kg/ha	CL$1.000.000/ha
10%	4.000 kg/ha	CL$2.000.000/ha

Cuando esa pérdida corresponde a árboles que deben ser reemplazados, estos valores dejan de representar una sola cosecha.

Se prolongan durante el período necesario para reconstruir la capacidad productiva y deben sumarse los costos de eliminación, planta, establecimiento y formación.

Incluso una mortalidad porcentualmente pequeña puede transformarse en una pérdida acumulativa importante.

4. PUNTO DE EQUILIBRIO DEL PROGRAMA

La lógica económica de SiliGreen no necesita construirse sobre incrementos extraordinarios de producción.

El programa base considerado es:

1,5 L/ha de SiliGreen

Costo: CL$97.500/ha sin IVA

La pregunta correcta es:

¿CUÁNTO VALOR NECESITA CONTRIBUIR A CONSERVAR EL PROGRAMA PARA PAGARSE?

Retorno considerado	Kg comerciales necesarios para recuperar CL$97.500	% sobre 40 t/ha

Retorno considerado	Kg comerciales necesarios para recuperar CL$97.500	% sobre 40 t/ha
CL$350/kg	279 kg	0,70%
CL$500/kg	195 kg	0,49%
CL$700/kg	139 kg	0,35%

195 kg/ha SOBRE 40.000 kg/ha = 0,49%.

Éste es el número económico central del dossier.

El programa no necesita recuperar 5%, 10% o 20% del rendimiento.

Necesita contribuir a conservar aproximadamente medio punto porcentual del valor productivo.

4.1. QUÉ SIGNIFICA PROTEGER PEQUEÑAS FRACCIONES DEL RESULTADO

Sobre el mismo escenario de 40 t/ha y CL$500/kg:

Resultado preservado	Kg/ha	Valor preservado	Relación frente al costo
0,49%	195	CL$97.500	1,0 ×
1%	400	CL$200.000	2,05 ×
2%	800	CL$400.000	4,10 ×
3%	1.200	CL$600.000	6,15 ×
5%	2.000	CL$1.000.000	10,26 ×

Esta tabla no representa una promesa de respuesta.

Representa la sensibilidad económica del sistema.

Demuestra qué tan pequeña es la fracción del resultado que debe conservarse para alcanzar el punto de equilibrio.

5. POR QUÉ EL SILICIO PUEDE TENER VALOR ECONÓMICO

La evidencia científica en cítricos muestra que el Si interviene sobre diferentes procesos vinculados directamente con las vías de pérdida descritas: agua, raíces, fotosíntesis, estrés oxidativo, estructura de tejidos, calidad del fruto, interacción con insectos y defensa.

Una revisión específica de 2025 integra respuestas frente a sequía, salinidad y temperaturas adversas, incluyendo mejoras en fotosíntesis, relaciones hídricas, defensa antioxidante y estabilidad de parámetros relacionados con calidad.

La importancia económica está precisamente en esa convergencia.

5.1. FOTOSÍNTESIS Y ESTRÉS OXIDATIVO

Presiones muy diferentes pueden terminar afectando las mismas funciones fisiológicas.

Déficit hídrico, salinidad, temperaturas adversas y distintos estreses radicales pueden disminuir fotosíntesis y aumentar especies reactivas de oxígeno.

En cítricos, el Si ha mostrado capacidad para favorecer estabilidad fotosintética y sistemas antioxidantes.

Esto explica parte importante de su transversalidad:

EL ORIGEN DEL ESTRÉS PUEDE CAMBIAR. PARTE DE LA RESPUESTA QUE PERMITE SOPORTARLO ES COMPARTIDA.

5.2. INTEGRIDAD DEL FRUTO Y CALIDAD COMERCIAL

Un ensayo publicado en 2024 mostró una reducción importante del cracking en cítricos con tratamientos de Si.

En el período de mayor incidencia: Control: 18,29% | Tratamiento destacado con Si: 6,25%.

Los tratamientos estuvieron asociados además con cambios en pared celular, actividad antioxidante e indicadores de calidad.

Esto conecta directamente estructura, estrés oxidativo, integridad del fruto y calidad comercial.

El valor económico puede estar no sólo en formar fruta, sino en conservar comercialmente la fruta que ya fue producida.

5.3. INSECTOS CHUPADORES Y ESTRUCTURA DEL TEJIDO

En 2026, un estudio sobre Unaspis yanonensis en mandarina Satsuma encontró que el Si redujo el crecimiento poblacional de estadios juveniles y la producción de nuevas ninfas por adultos.

El tratamiento aumentó además dureza foliar y acumulación de Si en el mesófilo.

La secuencia observada resulta especialmente relevante:

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

Para la lógica económica, esto representa otra vía posible de protección del sistema.

5.4. DEFENSA SANITARIA

La literatura especializada en cítricos identifica mecanismos físicos y bioquímicos asociados al Si frente a estrés biótico.

Entre ellos: fortalecimiento estructural, deposición asociada a tejidos, activación de respuestas defensivas, enzimas antioxidantes y metabolitos relacionados con resistencia.

La importancia económica de esta vía no consiste en reemplazar programas fitosanitarios.

Consiste en incorporar otra capa de protección del resultado.

6. LA MATRIZ MULTI ECONÓMICA

Presión sobre el huerto	Función asociada al Si	Resultado que puede contribuir a proteger	Expresión económica
Déficit hídrico	agua, antioxidantes, fotosíntesis	crecimiento y calibre	kg comerciales / categoría
Salinidad	equilibrio fisiológico, raíz, fotosíntesis	vigor y crecimiento	producción
Temperaturas adversas	fotosíntesis y antioxidantes	funcionalidad foliar	producción
Estrés radical	raíz + antioxidantes	absorción y recuperación	producción / permanencia
Estrés oxidativo	regulación antioxidante	integridad celular	transversal
Debilidad estructural	fortalecimiento de tejidos	hojas y frutos	calidad / descarte
Cracking	pared celular + antioxidantes	fruta comercializable	descarte
Insectos chupadores	estructura y dureza	menor presión sobre follaje	sanidad / vigor
Patógenos	barreras + respuesta defensiva	menor expresión de daño	sanidad
Deterioro acumulativo	convergencia de mecanismos	capacidad productiva	capital del huerto

VARIAS PRESIONES DIFERENTES PUEDEN DESTRUIR MARGEN A TRAVÉS DE LAS MISMAS FUNCIONES DE LA PLANTA.

Y una misma intervención transversal puede actuar sobre varias de esas funciones.

6.1. MULTI NO SIGNIFICA SUMAR DOS VECES

Si una mejora en tolerancia al estrés permite que un fruto permanezca en el árbol y alcance además un mejor calibre, existe un solo fruto protegido.

No corresponde contabilizarlo dos veces.

Por eso:

LA TRANSVERSALIDAD NO MULTIPLICA ARTIFICIALMENTE EL BENEFICIO.
MULTIPLICA LAS OPORTUNIDADES DE PROTEGERLO.

Muchas vías pueden converger sobre un mismo resultado. El resultado se contabiliza una sola vez.

7. EL RIESGO SANITARIO REGIONAL: CUANDO EL CAPITAL PRODUCTIVO PUEDE DESAPARECER

La vulnerabilidad económica de los cítricos adquiere su expresión extrema cuando una enfermedad compromete directamente la supervivencia del árbol.

HLB constituye actualmente el ejemplo más severo.

En Chile permanece como plaga cuarentenaria ausente.

Su importancia dentro de este dossier no corresponde al cálculo económico base del huerto chileno.

Es conceptual.

Demuestra hasta dónde puede llegar la consecuencia económica cuando el problema deja de afectar solamente la fruta y comienza a destruir el activo que la produce.

La misma lógica —aunque con agentes y magnitudes diferentes— explica por qué decaimiento, problemas radicales, gomosis, pérdida progresiva de árboles y replante merecen una categoría económica propia.

8. EL CAMBIO DE PREGUNTA

La pregunta tradicional es: ¿Cuánto más voy a producir?

Pero para un huerto perenne sometido simultáneamente a estrés, presión sanitaria y exigencias de calidad, existe una pregunta económicamente más completa:

¿CUÁNTO DEL VALOR QUE EL HUERTO YA ES CAPAZ DE PRODUCIR
PODEMOS EVITAR QUE SE PIERDA?

Ese cambio es fundamental.

SiliGreen no necesita depender de una única respuesta extraordinaria.

Con un costo de CL$97.500/ha, el escenario central requiere conservar aproximadamente 0,49% del resultado productivo.

Por eso:

NO SE NECESITA GANAR MUCHO POR UNA SOLA VÍA. SE NECESITA EVITAR PERDER MUY POCO DENTRO DE MUCHAS VÍAS POSIBLES.

9. PREGUNTAS PARA EL ASESOR TÉCNICO

1. ¿Cuál es el rendimiento total y cuál es el rendimiento realmente comercial del huerto?

2. ¿Qué porcentaje de la fruta pierde valor por calibre, condición, caída, manchas, fumagina u otras causas?

3. ¿Cuál es el retorno real por kilogramo que interesa proteger?

4. ¿Cuánto cuesta el programa sanitario completo por hectárea, incluyendo aplicaciones?

5. ¿Cuántas intervenciones de rescate son necesarias durante una temporada compleja?

6. ¿Qué presión presentan actualmente conchuelas, escamas, chanchitos blancos, mosquitas blancas y ácaros?

7. ¿Existen sectores con menor vigor, problemas radicales, gomosis o decaimiento?

8. ¿Qué porcentaje de árboles se repone anualmente?

9. ¿Cuál es la principal causa de pérdida o reemplazo de plantas?

10. ¿Cuánto demora un replante en volver a entregar una producción económicamente comparable?

11. ¿En qué períodos se concentra el mayor estrés hídrico o térmico?

12. ¿En qué etapas se producen las mayores pérdidas de crecimiento o calibre?

13. ¿Qué valor económico genera desplazar una pequeña proporción de fruta desde una categoría inferior hacia una superior?

14. ¿Qué porcentaje del valor productivo debe conservar cualquier nueva intervención para recuperar su costo?

PARA EL ESCENARIO CENTRAL DESARROLLADO EN ESTE DOSSIER: ≈ 0,49%.

10. CONCLUSIÓN

El cítrico es un sistema productivo plurianual expuesto simultáneamente a pérdidas de rendimiento, calibre, condición, sanidad y capacidad productiva.

Algunas son pequeñas y recurrentes.

Otras pueden comprometer árboles completos y extender sus consecuencias durante varias temporadas.

Por ello, el análisis económico de una herramienta transversal no debe limitarse a preguntar cuánto incrementa el rendimiento por una sola vía.

Debe analizar cuánto valor puede contribuir a conservar.

La evidencia científica disponible en cítricos muestra respuestas del Si sobre raíces, agua, fotosíntesis, estrés oxidativo, estructura de tejidos, defensa, interacción con insectos, integridad del fruto y calidad.

No todas estas respuestas necesitan expresarse simultáneamente. No es necesario sumarlas.

La fortaleza económica está precisamente en disponer de múltiples oportunidades para proteger el mismo resultado.

Con un programa de CL$97.500/ha y un punto de equilibrio de aproximadamente 0,49% en el escenario central, la inversión no necesita depender de una respuesta espectacular.

Necesita evitar que una pequeña fracción del valor productivo se pierda.

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

NO SE NECESITA GANAR MUCHO POR UNA SOLA VÍA. SE NECESITA EVITAR PERDER MUY POCO DENTRO DE MUCHAS VÍAS POSIBLES.

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

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

INIA Intihuasi. Manual de Producción de Cítricos. Enlace

INIA. Plagas de los cítricos: reconocimiento y manejo. 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

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