BIBLIOTECA DE SÍLICE

CT-NG · FRUTILLA · CHILE 3.0

ÁCIDO ORTOSILÍCICO EN FRUTILLA CHILE

Multitransversalidad fisiológica y protección del valor comercial

Raíz · agua · fotosíntesis · estrés oxidativo · defensa · rendimiento comercial · calidad · poscosecha

NO SE TRATA SOLAMENTE DE PRODUCIR MÁS FRUTA.
SE TRATA DE CONSEGUIR QUE MÁS DE LA FRUTA PRODUCIDA TERMINE COMO FRUTA COMERCIAL.

Documento técnico-comercial · Equipo Técnico I+D NewGreen · Octubre 2026

1. EL PROBLEMA PRODUCTIVO: LA FRUTILLA NO SE PAGA POR EXISTIR EN LA PLANTA

La frutilla es un cultivo donde producción y valor comercial pueden separarse con facilidad. Una planta puede haber florecido, cuajado y llenado fruta, pero el resultado económico final depende de cuánta de esa fruta llega a cosecha con calibre y condición, cuánta se mantiene comercial durante la manipulación y cuánto valor conserva después de cosechada.

En Chile, la producción se realiza bajo sistemas y ambientes muy distintos: suelo o sustrato, túnel o aire libre, diferentes fechas de establecimiento y cosecha, y cultivares de día neutro como Albion, San Andreas y Monterey, entre otros. INIA destaca que temperatura, humedad, disponibilidad de agua y manejo sanitario modifican fuertemente el comportamiento del cultivo. [F1–F2]

La consecuencia es directa: el rendimiento biológico no basta. En frutilla importan simultáneamente número de frutos, peso, proporción comercial, firmeza, color, sólidos solubles, pudriciones, condición poscosecha y velocidad de deterioro.

EL OBJETIVO PRODUCTIVO NO ES SOLAMENTE PRODUCIR KILOS. ES CONVERTIR EL MAYOR PORCENTAJE POSIBLE DEL POTENCIAL DEL CULTIVO EN FRUTA COMERCIAL.

2. LA CADENA FISIOLÓGICA QUE CONSTRUYE O DESTRUYE ESE VALOR

Una frutilla no pierde valor solamente cuando aparece un síntoma visible. Antes de que exista menor rendimiento, fruta pequeña o descarte, suelen ocurrir procesos fisiológicos que se encadenan.

RAÍZ → AGUA → ESTOMAS → FOTOSÍNTESIS → BALANCE OXIDATIVO → MEMBRANAS Y TEJIDOS → DEFENSA → FRUTO → POSCOSECHA → VALOR COMERCIAL.

Déficit hídrico, alta demanda atmosférica, arañita, oídio y Botrytis son problemas diferentes, pero pueden converger en pérdida de área funcional, reducción fotosintética, mayor estrés oxidativo, deterioro de tejidos y menor proporción de fruta comercial. Ésta es la razón por la que una herramienta fisiológicamente transversal resulta especialmente interesante en este cultivo.

El silicio no debe analizarse como si fuera un fungicida, acaricida o corrector específico. Su interés está en cuántos puntos de esa cadena puede modificar una misma intervención, y en qué condiciones esos cambios terminan preservando producción, calidad o condición.

3. PRIMERA PREGUNTA: ¿LA FRUTILLA REALMENTE PUEDE ABSORBER SILICIO?

Sí. Ouellette et al. identificaron en Fragaria × ananassa un transportador de entrada tipo Lsi1 y un transportador de salida Lsi2 funcionalmente compatibles con la captación y movilización de ácido silícico. Bajo suministro continuo de Si soluble en túnel, las plantas llegaron a acumular alrededor de 3% de Si sobre materia seca, una concentración muy superior a la que históricamente se suponía para la especie. [F3]

Ese mismo trabajo entrega una lección todavía más importante. Bajo túnel, donde el Si soluble fue efectivamente absorbido, disminuyó el oídio y aumentó el rendimiento comercial. En campo, cuando los tratamientos no consiguieron aumentar significativamente la acumulación de Si en tejidos, tampoco aparecieron respuestas comparables. [F3]

APLICAR SILICIO NO ES LO MISMO QUE ENTREGAR SILICIO DISPONIBLE A LA PLANTA.

Por eso la discusión tecnológica debe distinguir entre cantidad total aplicada y forma fisiológicamente disponible. La forma soluble incorporada por la raíz es el ácido ortosilícico o monosilícico, H_4SiO_4. Las demás fuentes deben alcanzar primero una forma disponible antes de entrar en la planta. [F3–F4]

4. DISPONIBILIDAD: POR QUÉ LA FORMA Y LA VÍA IMPORTAN

En frutilla, la fuente, la vía de aplicación y la condición del sistema cambian la respuesta. Jarosz et al. evaluaron específicamente ácido ortosilícico estabilizado en cv. Falco y observaron que la aplicación radicular mediante fertirriego produjo, en varias variables, respuestas más intensas que la vía foliar. [F4]

Peris-Felipo et al. también encontraron interacciones entre vía de aplicación, sustrato y condición de hierro. Esto obliga a abandonar la idea de una dosis universal: la respuesta final depende de disponibilidad, sustrato, pH, cultivar, ambiente y momento fisiológico. [F5]

La aplicación foliar puede seguir siendo agronómicamente útil, especialmente cuando el objetivo incluye tejidos aéreos o ventanas específicas de manejo. Pero no corresponde asumir que todas las vías producirán la misma absorción ni el mismo tipo de respuesta.

FUENTE + DISPONIBILIDAD + VÍA + CULTIVAR + AMBIENTE + MOMENTO FISIOLÓGICO DETERMINAN LA MAGNITUD FINAL DE LA RESPUESTA.

5. AGUA: EL ESTRÉS PUEDE APARECER AUN CUANDO HAYA RIEGO

La frutilla responde con rapidez a cambios en disponibilidad hídrica y demanda atmosférica. Un trabajo japonés publicado en 2026 mostró que el déficit de presión de vapor (VPD) puede inducir contracción del pedúnculo y señales de estrés hídrico con umbrales distintos entre cultivares. En Koiminori el estrés fuerte apareció a VPD ≥ 1,29 kPa; en Kaorino dependió de un rango de VPD y de la velocidad de cambio del VPD; y en Sanukihime el umbral fue cercano a 1,21 kPa combinado con la dinámica del ambiente. [F6]

El mensaje agronómico es importante para producción protegida: la planta puede sufrir estrés por demanda atmosférica incluso cuando el sistema de riego está funcionando. Además, la sensibilidad no es idéntica entre cultivares.

En China, un ensayo con cv. Kaorino bajo riego completo y deficitario mostró que el Si modificó pigmentos fotosintéticos, capacidad antioxidante, metabolismo nitrogenado y peroxidación de membranas. Bajo déficit, la aplicación radicular aumentó carotenoides y redujo peroxidación, mientras la vía foliar destacó en varios componentes antioxidantes y de asimilación de nitrógeno. [F7]

Otro trabajo con cv. Camarosa mostró que el Si mejoró clorofila, fotosíntesis, conductancia, eficiencia de uso de agua y otros parámetros bajo estrés hídrico. [F8]

EL AOS NO REEMPLAZA EL RIEGO. SU INTERÉS ESTÁ EN CUÁNTO FUNCIONAMIENTO CONSIGUE CONSERVAR LA PLANTA CUANDO EL AMBIENTE EMPIEZA A QUITARLO.

6. FOTOSÍNTESIS: PROTEGER LA FÁBRICA QUE ALIMENTA EL FRUTO

La frutilla sostiene simultáneamente hojas, flores y frutos en diferentes etapas. El rendimiento comercial depende de mantener suficiente área foliar funcional y capacidad fotosintética durante un período prolongado.

Déficit hídrico, arañita, oídio, temperaturas adversas y estrés oxidativo convergen en reducción de fotosíntesis. Los estudios directos con Si bajo déficit hídrico muestran mejoras o protección de clorofila, pigmentos, fluorescencia, intercambio gaseoso y eficiencia de uso de agua. [F7–F8]

Fotosíntesis no es un beneficio económico independiente. Es un mecanismo. Su valor aparece cuando permite sostener número de frutos, peso, calibre o duración del período productivo.

PROTEGER FOTOSÍNTESIS NO SE SUMA COMO UN SEGUNDO RETORNO SI FINALMENTE EXPLICA LOS MISMOS KILOS PRESERVADOS.

7. ESTRÉS OXIDATIVO: UNA VÍA COMÚN DETRÁS DE PROBLEMAS DIFERENTES

Sequía, alta demanda evaporativa, salinidad, temperaturas adversas y presión biológica pueden aumentar especies reactivas de oxígeno (ROS). Cuando la capacidad antioxidante resulta insuficiente, aumentan peroxidación lipídica, daño de membranas, alteraciones metabólicas y senescencia.

En frutilla se han documentado menores niveles de peroxidación y modificaciones favorables de sistemas antioxidantes bajo suministro de Si. En el estudio de Kaorino, el efecto dependió de la vía de aplicación y del régimen hídrico. [F7]

Esta convergencia fisiológica ayuda a explicar por qué el silicio puede mostrar respuestas frente a estreses que no comparten el mismo agente causal. No porque el Si “controle todo”, sino porque varios estreses terminan utilizando vías de daño comunes.

TRANSVERSALIDAD NO SIGNIFICA UNIVERSALIDAD. SIGNIFICA QUE DIFERENTES ESTRESES PUEDEN CONVERGER EN PROCESOS FISIOLÓGICOS SOBRE LOS CUALES EL SI PUEDE INTERVENIR.

8. OÍDIO: UNA DE LAS LÍNEAS DE EVIDENCIA DIRECTA MÁS CONSISTENTES

El oídio de la frutilla puede afectar hojas, flores y frutos, y es especialmente relevante en producción protegida. California y Nueva Zelanda lo mantienen como problema importante en sistemas comerciales de frutilla. [F9–F10]

Kanto et al. evaluaron silicato soluble durante dos temporadas bajo condiciones de productor en Japón. El valor de control informado alcanzó 85,6% y 60,2% en Toyonoka y 58,0% y 40,6% en Sachinoka, según temporada. La dureza foliar no explicó por sí sola la respuesta, lo que sugiere que el mecanismo no se reduce a una barrera física. [F11]

Ouellette et al. observaron reducción de oídio en los seis cultivares evaluados bajo túnel cuando el Si fue efectivamente absorbido, junto con aumentos de fruta comercial. [F3]

La evidencia permite afirmar que existe una respuesta real del sistema Si-frutilla frente a oídio. No autoriza a afirmar que cualquier fuente, dosis o programa tendrá la misma eficacia.

9. ARAÑITA: LA TRANSVERSALIDAD APARECE FRENTE A UN ORGANISMO COMPLETAMENTE DIFERENTE

Tetranychus urticae se alimenta del contenido celular, provoca bronceado foliar, reduce capacidad fotosintética y puede afectar rendimiento y calidad. UC IPM señala que infestaciones tempranas pueden reducir de manera importante el número de frutos y el rendimiento, y Australia mantiene el

problema como prioridad de investigación por las limitaciones de herramientas químicas y el riesgo de resistencia. [F12–F13]

Liu, Davies y Hall realizaron dos ensayos en una explotación comercial del Reino Unido. El Si fue aplicado semanalmente por fertirriego y disminuyó simultáneamente oídio y arañita. Las poblaciones medias de T. urticae bajaron de 8,82 a 1,43 individuos por hoja en 2014 y de 6,69 a 1,83 en 2015. [F14]

En 2014, además, Si + fungicida presentó menor severidad de oídio que el fungicida solo, mostrando una posible complementariedad entre una herramienta específica y una herramienta fisiológicamente transversal. [F14]

UN HONGO Y UN ÁCARO NO COMPARTEN UN MISMO FITOSANITARIO. QUE UNA MISMA ESTRATEGIA NUTRICIONAL MODIFIQUE AMBAS PRESIONES ES UNA EXPRESIÓN REAL DE MULTITRANSVERSALIDAD.

10. BOTRYTIS: AQUÍ TENEMOS EVIDENCIA DIRECTA CON AOS ESTABILIZADO

Botrytis cinerea es especialmente importante porque puede destruir valor antes y después de cosecha. La infección puede comenzar en flor y permanecer latente hasta que el fruto madura, de modo que parte del daño aparece cuando ya se ha incurrido en gran parte del costo productivo. Australia y Nueva Zelanda la consideran una de las enfermedades claves de la frutilla. [F15–F16]

Jarosz et al. evaluaron en 2025 AOS estabilizado aplicado por vía foliar y radicular en cv. Falco. El tratamiento aumentó significativamente el rendimiento total y comercial, el peso y número de frutos comerciales, redujo la incidencia de Botrytis durante cosecha y disminuyó la pérdida de peso y la proporción de fruta enferma durante 120 horas de almacenamiento. [F4]

En el análisis independiente de la vía, el rendimiento comercial medio pasó de 539,52 g/planta en el control a 613,60 g/planta con 240 g Si/ha, aproximadamente +13,7%. La vía radicular mostró, en general, mayor efecto que la foliar. [F4]

ESTE +13,7% DEMUESTRA CAPACIDAD DE RESPUESTA EN ESE ENSAYO. NO DEBE CONVERTIRSE EN UNA PROMESA COMERCIAL PARA CHILE.

11. RENDIMIENTO COMERCIAL: MÁS IMPORTANTE QUE EL RENDIMIENTO BIOLÓGICO

Para un productor de frutilla no basta producir biomasa ni siquiera producir frutos. Importa cuántos frutos cumplen condición comercial.

Ouellette et al. clasificaron como no comerciales los frutos demasiado pequeños, deformes o enfermos. Bajo túnel, Si redujo oídio y aumentó significativamente el peso de fruta comercial en los seis cultivares. En Monterey, bajo condiciones de alta presión de oídio, las diferencias llegaron a ser extraordinariamente grandes. [F3]

Esas magnitudes extremas no deben trasladarse a una expectativa chilena. Su utilidad es conceptual: cuando una presión limitante es importante y el Si es efectivamente absorbido, el retorno puede expresarse principalmente como fruta recuperada hacia categoría comercial.

PRODUCIR MÁS Y PERDER MENOS FRUTA COMERCIAL SON VÍAS DISTINTAS AUNQUE AMBAS TERMINEN EXPRESÁNDOSE EN KG/HA VENDIDOS.

12. CALIDAD DEL FRUTO: HAY RESPUESTAS, PERO NO SON UNIFORMES

Peris-Felipo et al. encontraron, según sustrato y estado de hierro, respuestas sobre peso, diámetro, firmeza, glucosa, fructosa, minerales y vida útil. En una condición, la vida poscosecha aumentó alrededor de 1,5 días. [F5]

Jarosz et al. también registraron cambios en TSS y ácido ascórbico después de AOS estabilizado. [F4]

Sin embargo, un estudio publicado en 2026 con cv. Elsanta no encontró un efecto significativo del bioestimulante de Si sobre las variables de calidad poscosecha evaluadas; la principal mejora provino del envasado en atmósfera modificada. [F17]

Esta evidencia negativa es importante. Evita convertir una respuesta condicionada en una promesa universal y refuerza la necesidad de distinguir cultivar, fuente, vía, dosis y sistema de poscosecha.

LA EVIDENCIA PERMITE HABLAR DE POTENCIAL SOBRE CALIDAD Y POSCOSECHA. NO PERMITE PROMETER UNA RESPUESTA UNIFORME EN TODAS LAS CONDICIONES.

13. POSCOSECHA: LA FRUTILLA NO TERMINA EN LA COSECHA

UC Davis identifica las enfermedades como una de las principales causas de pérdidas poscosecha en frutilla y a Botrytis como la pudrición más importante. Retrasos en enfriamiento reducen el porcentaje de fruta comercializable. [F18]

Por eso el resultado productivo no debe medirse solamente en kg cosechados. Debe seguirse hasta fruta comercializable después de enfriamiento y almacenamiento.

La evidencia de Si en poscosecha es mixta: Peris-Felipo y Jarosz muestran respuestas favorables en determinadas condiciones, mientras el estudio 2026 en Elsanta no detectó un efecto significativo del tratamiento de Si sobre calidad durante almacenamiento. [F4–F5, F17]

La conclusión no es que la poscosecha deba excluirse. Es exactamente la contraria: debe medirse, porque el efecto no puede asumirse.

14. CHILE NO ES UN SOLO AMBIENTE: MACROZONA, TÚNEL, SUSTRATO Y CULTIVAR IMPORTAN

La evidencia internacional debe filtrarse antes de entrar a una recomendación chilena. Albion y Monterey aparecen tanto en sistemas chilenos como en investigación internacional, lo que mejora comparabilidad en algunas preguntas, pero no iguala automáticamente clima, sustrato, presión sanitaria ni duración de cosecha. [F1–F3]

En túneles, el VPD, la ventilación y la humedad modifican simultáneamente demanda hídrica y presión de oídio/Botrytis. En suelo o sustrato cambia la dinámica de absorción. La fecha de plantación modifica el ambiente térmico. Y el cultivar puede alterar sensibilidad hídrica, arquitectura, firmeza y respuesta a enfermedad.

Por eso un programa serio con AOS debe medirse en macrozonas y sistemas concretos, no en una única etiqueta de “frutilla Chile”.

15. MAPA INTERNACIONAL: QUÉ APORTA CADA REGIÓN A LA INTERPRETACIÓN

Región	Aporte útil para Chile	Jerarquía en el capítulo
Chile	Cultivares, sistemas, costos, manejo y sanidad local	Base productiva y económica
California	Oídio, arañita, producción comercial y poscosecha	Comparabilidad agronómica alta
China	Agua, fotosíntesis, antioxidantes, membranas y calidad	Mecanismo fisiológico directo
Japón	Oídio y respuesta de estrés hídrico dependiente de VPD/cultivar	Evidencia directa + fisiología ambiental
Australia	Botrytis, oídio, ácaros y presión de herramientas químicas	Validación comercial del riesgo
Nueva Zelanda	Botrytis y oídio en sistemas protegidos	Comparabilidad sanitaria
Canadá	Absorción de Si, Lsi1/Lsi2, oídio y rendimiento comercial	Evidencia directa central
Reino Unido	Oídio + arañita en dos temporadas comerciales	Multitransversalidad directa

16. QUÉ TAN FUERTE ES HOY LA EVIDENCIA EN FRUTILLA

La siguiente tabla no es una clasificación científica formal. Es una lectura editorial de fortaleza, directitud y consistencia de la evidencia disponible para orientar el mensaje técnico.

Vía	Fortaleza editorial	Lectura
Absorción / competencia para Si	5 / 5	Transportadores funcionales y acumulación demostrada
Oídio	4-5 / 5	Múltiples ensayos directos, comerciales y de productor
Arañita	4 / 5	Dos temporadas comerciales con respuesta consistente
Botrytis	4 / 5	Evidencia directa reciente, incluyendo AOS estabilizado
Déficit hídrico / fisiología	4 / 5	Varios estudios directos en frutilla
Rendimiento comercial	4 / 5	Respuestas positivas, pero muy dependientes del sistema
Calidad de fruto	3 / 5	Varias respuestas positivas; no universales
Poscosecha	3 / 5	Señales favorables y resultados nulos recientes
Sustitución de fitosanitarios	1 / 5	No corresponde prometerla de manera general

LA FORTALEZA DE UNA TECNOLOGÍA NO ESTÁ EN DECIR QUE SIRVE PARA TODO. ESTÁ EN IDENTIFICAR DÓNDE LA EVIDENCIA ES REALMENTE FUERTE.

17. HERRAMIENTA ESPECÍFICA VS. HERRAMIENTA TRANSVERSAL

Un fungicida o acaricida tiene una función específica y puede ser indispensable. El AOS responde a otra lógica: actuar sobre la planta y su capacidad de sostener funcionamiento frente a diferentes presiones.

Herramienta específica	AOS / herramienta transversal
Actúa principalmente sobre un objetivo definido	Actúa sobre distintos procesos de la planta
Necesita acertar en problema, momento y cobertura	Puede estar trabajando antes de la contingencia
Puede controlar al agente causal	No necesita matar al agente para generar valor
Su retorno se concentra en el problema controlado	Puede construir retorno por producción, descarte, calidad y protección
Puede complementarse con nutrición/biostimulación	Puede complementar herramientas específicas sin sustituirlas

El ensayo de Liu et al. es especialmente ilustrativo: Si + fungicida fue superior al fungicida solo en una comparación de oídio. Esto no demuestra que la combinación siempre será superior; sí demuestra que la relación no tiene por qué plantearse como sustitución. [F14]

EL AOS NO NECESITA REEMPLAZAR A OTRA HERRAMIENTA PARA GENERAR VALOR.

18. CONSECUENCIA PRODUCTIVA: LA MULTITRANSVERSALIDAD DEBE TERMINAR EN FRUTA COMERCIAL

Los mecanismos fisiológicos no se venden. Se vende fruta. Por eso la cadena interpretativa debe terminar siempre en una variable comercial.

MECANISMO → RESULTADO PRODUCTIVO → RESULTADO COMERCIAL → MARGEN.

Mecanismo / respuesta	Consecuencia productiva posible	Resultado comercial
Mejor balance hídrico	Menor caída de crecimiento bajo estrés	kg preservados
Protección fotosintética	Mayor capacidad de sostener carga	kg / peso / calibre
Menor daño oxidativo	Tejido funcional por más tiempo	producción preservada
Menor oídio	Más área foliar y fruta sana	fruta comercial
Menor arañita	Menor daño foliar y de calidad	kg/calidad preservados
Menor Botrytis	Menos fruta enferma	menor descarte
Cambios en firmeza/TSS	Mejor condición en algunos sistemas	categoría / vida comercial

Si raíz, agua, fotosíntesis y antioxidantes terminan explicando los mismos 500 kg preservados, esos 500 kg se contabilizan una sola vez. La multitransversalidad significa más oportunidades de proteger el resultado, no multiplicar artificialmente el mismo beneficio.

19. RESUMEN DEL DOSSIER ECONÓMICO: CUÁNTO TIENE QUE PROTEGER PARA PAGARSE

El Dossier Económico Frutilla Chile 3.0 utiliza como referencia la ficha ODEPA para frutilla bajo túnel y mulch en la Región Metropolitana, con una estructura de trabajo de 67.000 kg/ha, $800/kg, ingreso bruto de $53,6 millones/ha, costo total de $36,82 millones/ha y margen de referencia cercano a $16,78 millones/ha. [F1, F19]

Dentro de esa estructura, cosecha, selección y carga representan aproximadamente $170/kg. Por eso un kilo preservado antes de cosecha tiene una contribución marginal aproximada de $630/kg.

Concepto	Valor de referencia
Rendimiento	67.000 kg/ha
Precio productor	$800/kg
Ingreso bruto	$53.600.000/ha
Costo total	$36.821.612/ha
Margen de referencia	$16.778.388/ha
Cosecha, selección y carga	≈ $170/kg
Programa de referencia AOS/SiliGreen	1,5 L/ha · $97.500 netos/ha

PUNTO DE EQUILIBRIO PRECOSECHA: $97.500 ÷ $630 ≈ 155 KG/HA = 0,23% DE UN RENDIMIENTO DE 67 T/HA.

Si toda la recuperación proviniera de evitar rechazo después de cosecha, cuando el costo de cosecha ya fue incurrido, el umbral teórico baja a aproximadamente 122 kg/ha, cerca de 0,18% del rendimiento.

Esto cambia la pregunta comercial. No necesitamos prometer +10% de rendimiento. Necesitamos saber si la suma de las vías realmente expresadas en ese predio puede proteger más de $97.500/ha de margen.

20. TRANSVERSALIDAD ECONÓMICA: UNA INVERSIÓN, VARIAS OPORTUNIDADES DE RETORNO

El retorno del AOS no tiene por qué provenir de una sola respuesta. Puede aparecer como producción adicional, producción preservada, menor descarte, calidad protegida, poscosecha, racionalización o una combinación de varias de ellas.

Pero sólo se suma lo que realmente ocurrió y nunca dos veces el mismo kilo.

Vía económica	Cómo se valoriza	Regla
Producción adicional	kg nuevos × contribución marginal	No extrapolar porcentajes de ensayos
Producción preservada	kg no perdidos × contribución marginal	No sumar de nuevo mecanismos que explican esos kg
Descarte evitado	kg rescatados × valor comercial correspondiente	Separar precosecha de poscosecha
Calidad protegida	kg que cambian de categoría × diferencial real	Necesita precio real al productor
Racionalización	producto/intervención que efectivamente deja de hacerse	Ahorro = $0 mientras se siga usando

Vía económica	Cómo se valoriza	Regla
Pasadas evitadas	costo de una operación que realmente desaparece	No forzar mezclas sólo para ahorrar maquinaria

LA RENTABILIDAD DEL AOS NO DEPENDE DE UNA SOLA RESPUESTA, SINO DE SU CAPACIDAD DE PROTEGER EL MARGEN POR MÚLTIPLES VÍAS.

21. EL EFECTO ANTICÍCLICO: CUANDO PERDER MENOS VALE MÁS

Una temporada con poca presión puede mostrar una respuesta pequeña porque el cultivo tiene menos restricciones. Cuando aparecen déficit hídrico, VPD alto, Botrytis, oídio, arañita o estrés combinado, conservar una fracción del potencial puede adquirir mucho más valor.

Sobre la base económica del dossier, una pérdida potencial de sólo 5% equivale a 3.350 kg/ha y aproximadamente $2,11 millones/ha de margen marginal expuesto. Para recuperar $97.500, el programa necesitaría preservar alrededor de 4,6% de esa pérdida potencial, no toda la pérdida.

EN UNA TEMPORADA DIFÍCIL, PERDER MENOS PUEDE SER ECONÓMICAMENTE MÁS IMPORTANTE QUE GANAR MÁS EN UNA TEMPORADA PERFECTA.

22. QUÉ DEBEMOS MEDIR EN ENSAYOS CHILENOS

El siguiente paso científico no es acumular más frases generales sobre Si. Es medir el sistema completo en condiciones chilenas y llevar la respuesta hasta fruta comercial y margen.

22.1. Planta y ambiente

- Cultivar, origen de planta, fecha de plantación y sistema de cultivo.
- Suelo o sustrato, pH, CE, disponibilidad de agua y programa nutricional.
- Temperatura, humedad relativa, VPD y radiación durante las ventanas críticas.
- Estado hídrico, conductancia, área foliar y variables fotosintéticas cuando el ensayo lo permita.
- Contenido de Si en tejido cuando sea técnicamente viable, para verificar absorción.

22.2. Sanidad

- Incidencia y severidad de oídio.
- Población y dinámica de Tetranychus urticae.
- Botrytis en flor/fruto, durante cosecha y después de almacenamiento.
- Número real de tratamientos específicos utilizados y presión sanitaria de la temporada.

22.3. Producción y fruta

- Rendimiento total y rendimiento comercial.
- Número de frutos, peso promedio y distribución por categoría.
- Firmeza, TSS/°Brix, acidez, color y descarte.

- Vida poscosecha, pérdida de peso y pudriciones.

22.4. Economía

- kg comerciales/ha, no sólo kg totales.
- kg descartados y causa del descarte.
- Diferencial real de precio por categoría.
- Productos o pasadas que realmente dejaron de utilizarse.
- Costo completo del programa AOS y margen/ha.

23. PREGUNTAS PARA EL ASESOR TÉCNICO

1. ¿Cuál es hoy la principal vía de pérdida de fruta comercial en este predio: agua, oídio, arañita, Botrytis, descarte, condición o una combinación?
2. ¿Qué cultivar y sistema productivo estamos manejando y qué tan comparable es con la evidencia disponible?
3. ¿Estamos midiendo VPD y estrés atmosférico en túnel o sólo frecuencia de riego?
4. ¿Cuánto oídio y arañita aparecen realmente por temporada y en qué momento del ciclo?
5. ¿Cuánto Botrytis aparece en cosecha y cuánto después del enfriamiento o almacenamiento?
6. ¿La fuente de Si utilizada entrega una forma disponible y tenemos alguna evidencia de absorción en ese programa?
7. ¿Conviene la vía foliar, radicular o una estrategia combinada para el objetivo específico?
8. ¿Qué parte del programa actual está funcionalmente superpuesta y cuál aporta una función que debemos conservar?
9. ¿Podemos integrar las aplicaciones a pasadas ya programadas sin comprometer oportunidad ni compatibilidad?
10. ¿Cuántos kg/ha o cuánto descarte necesitamos proteger para recuperar el costo incremental real?
11. ¿Estamos midiendo rendimiento total o realmente fruta comercial y margen por hectárea?

24. LO QUE HOY PODEMOS AFIRMAR

1. La frutilla posee transportadores funcionales Lsi1 y Lsi2 y puede acumular Si cuando éste está disponible. [F3]
2. La respuesta depende fuertemente del régimen de fertilización, fuente, vía, cultivar y ambiente. [F3–F5]
3. Existe evidencia directa y repetida de reducción de oídio con Si. [F3, F11, F14]
4. Existe evidencia comercial de reducción simultánea de oídio y arañita en dos temporadas. [F14]
5. Existe evidencia reciente con AOS estabilizado de aumento de rendimiento comercial, reducción de Botrytis y mejora de parámetros poscosecha bajo condiciones específicas. [F4]

6. Existe evidencia directa en frutilla de modulación de respuestas al déficit hídrico, fotosíntesis, antioxidantes y membranas. [F7–F8]
7. Las respuestas sobre calidad y poscosecha son interesantes pero no universales; un estudio 2026 encontró respuesta nula del tratamiento de Si sobre calidad durante almacenamiento. [F17]
8. No corresponde prometer sustitución general de fungicidas o acaricidas.
9. La mejor lectura del AOS en frutilla es como herramienta transversal de protección del potencial productivo y comercial, no como producto de una sola función.

25. LO QUE TODAVÍA NECESITAMOS SABER EN CHILE

La principal brecha no es si el Si puede producir respuestas en frutilla. Eso ya está documentado. La brecha es cuantificar la consistencia de esas respuestas bajo los cultivares, macrozonas, sustratos, climas y programas reales de Chile.

Necesitamos ensayos que comparen fuente × vía × dosis × momento, midan absorción cuando sea posible y terminen en una variable comercial. Especialmente valiosos serían ensayos en Albion, Monterey y San Andreas bajo túnel y aire libre, incorporando VPD, sanidad, rendimiento comercial, descarte y poscosecha.

El salto que falta dar con mayor frecuencia es éste:

RESPUESTA FISIOLÓGICA → FRUTA COMERCIAL → DESCARTE → CALIDAD → POSCOSECHA → $/HA.

26. CONCLUSIÓN

La frutilla es un cultivo especialmente adecuado para pensar el silicio desde la transversalidad. El valor comercial depende de una cadena larga y sensible: raíces funcionales, balance hídrico, fotosíntesis, estabilidad oxidativa, integridad de tejidos, defensa, producción, condición y poscosecha.

La evidencia directa muestra que la planta puede absorber Si y responder frente a distintas presiones. Tenemos resultados sobre oídio, arañita, Botrytis, déficit hídrico, fotosíntesis, defensa antioxidante, rendimiento comercial y determinadas variables de calidad. La magnitud no es uniforme y justamente por eso no debe construirse una promesa basada en un único porcentaje.

El argumento más sólido es otro: una herramienta fisiológicamente transversal dispone de más de una vía para proteger el valor producido. Algunas temporadas el retorno puede aparecer en kilos; otras, en descarte, sanidad, condición o menor impacto de una contingencia. Y en algunas, una parte del valor puede provenir de racionalización real del programa.

MULTITRANSVERSALIDAD FISIOLÓGICA: UNA MISMA HERRAMIENTA ACTÚA SOBRE DIFERENTES PROCESOS DE LA PLANTA.

MULTITRANSVERSALIDAD ECONÓMICA: UNA MISMA INVERSIÓN DISPONE DE DIFERENTES VÍAS PARA GENERAR O PROTEGER MARGEN.

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

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

Se prioriza evidencia directa en frutilla y fuentes oficiales para Chile. Las fuentes de California, China, Japón, Australia y Nueva Zelanda se utilizan para mecanismos o comparabilidad productiva; no para trasladar automáticamente porcentajes de pérdida a Chile.

F1. ODEPA. Ficha de costo: Frutilla, Región Metropolitana. Frutilla en túnel con mulch, tecnología media, Albion/Monterey. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura de Chile. https://www.odepa.gob.cl/contenidos-rubro/fichas-de-costo-contenidos-rubro/ficha-de-costo-frutilla-region-metropolitana

F2. INIA Chile. Manual / antecedentes de manejo agronómico de frutilla y cultivares de día neutro. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/d0d07e74-4f7f-4ce0-bb2f-6d588167b363/content

F3. Ouellette, S. et al. (2017). Silicon Transporters and Effects of Silicon Amendments in Strawberry under High Tunnel and Field Conditions. Frontiers in Plant Science 8:949. DOI 10.3389/fpls.2017.00949. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00949

F4. Jarosz, Z. et al. (2025). Effect of Foliar and Root Silicon Supply on Yielding and Gray Mold Incidence in Strawberry Pot Cultivation. Agriculture 15(4):401. DOI 10.3390/agriculture15040401. https://doi.org/10.3390/agriculture15040401

F5. Peris-Felipo, F. J., Benavent-Gil, Y., & Hernández-Apaolaza, L. (2020). Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. Plant Physiology and Biochemistry 152:23–31. DOI 10.1016/j.plaphy.2020.04.026. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026

F6. Yamanaka, R. et al. (2026). Analysis of Water-stress Responses to Vapor-pressure Deficit Conditions in June-bearing Strawberries (Fragaria × ananassa Duch.). The Horticulture Journal 95(2):237–244. DOI 10.2503/hortj.SZD-090. https://doi.org/10.2503/hortj.SZD-090

F7. Silicon application improves strawberry plant antioxidation ability and fruit nutrition under both full and deficit irrigation. Scientia Horticulturae 309 (2023) 111684. DOI 10.1016/j.scienta.2022.111684. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111684

F8. Effect of Silicon on Growth and Development of Strawberry under Water Deficit Conditions. Horticultural Plant Journal 4(6) (2018):226–232. DOI 10.1016/j.hpj.2018.09.004. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.004

F9. University of California IPM. Strawberry: Powdery Mildew. https://ipm.ucanr.edu/agriculture/strawberry/powdery-mildew/

F10. Strawberry Growers New Zealand. Powdery mildew factsheet / grower resources. https://www.strawbsnz.co.nz/assets/Grower-Resources-v2/Disease-sheets/B3-Powdery-Mildew.pdf

F11. Kanto, T., Miyoshi, A., Ogawa, T., Maekawa, K., & Aino, M. (2006). Suppressive effect of liquid potassium silicate on powdery mildew of strawberry in soil. Journal of General Plant Pathology 72:137–142. DOI 10.1007/s10327-005-0270-8. https://doi.org/10.1007/s10327-005-0270-8

F12. University of California IPM. Strawberry: Spider Mites. https://ipm.ucanr.edu/agriculture/strawberry/spider-mites/

F13. Hort Innovation Australia. Generation of data – Rubus and strawberry mite efficacy and residue trials (MT25006), 2025–2027. https://prod2.horticulture.com.au/growers/help-your-business-grow/research-reports-publications-fact-sheets-and-more/mt25006/

F14. Liu, B., Davies, K., & Hall, A. (2020). Silicon builds resilience in strawberry plants against both strawberry powdery mildew Podosphaera aphanis and two-spotted spider mites Tetranychus urticae. PLOS ONE 15(12):e0241151. DOI 10.1371/journal.pone.0241151. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241151

F15. Hort Innovation Australia. Biological control of Botrytis cinerea in strawberry (BS12007). https://www.horticulture.com.au/growers/help-your-business-grow/research-reports-publications-fact-sheets-and-more/bs12007

F16. Strawberry Growers New Zealand / Berryworld. Botrytis in strawberries. https://www.strawbsnz.co.nz/news/news/botrytis-in-strawberries/

F17. The effects of silicon biostimulant treatment and active modified atmosphere packaging on the quality and shelf life of strawberry (cv. Elsanta) fruit. Journal of Stored Products Research 116 (2026) 102978. DOI 10.1016/j.jspr.2026.102978. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2026.102978

F18. UC Davis Postharvest Research and Extension Center. Strawberry Produce Facts. https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/strawberry

F19. NewGreen Chile. Dossier Económico Frutilla Chile 3.0. Base de trabajo: programa AOS/SiliGreen 1,5 L/ha/temporada y $97.500 netos/ha. Documento interno, 2026.

NOTA FINAL DE USO

Este capítulo sintetiza evidencia científica y contexto productivo. Las respuestas observadas en ensayos internacionales no constituyen garantía de desempeño en Chile. La recomendación debe considerar cultivar, macrozona, sistema productivo, presión de estrés, fuente, dosis, vía y programa real del predio.

El bloque económico resume el Dossier Económico Frutilla Chile 3.0. Los valores deben actualizarse con precios, rendimiento, descarte, costos de pasada y retorno real del productor al momento de la decisión.