

BIBLIOTECA DE SILICIO
CHILE 3.0

DOSSIER ECONÓMICO

TOMATE EN INVERNADERO

Proteger kilos comercializables dentro de un sistema intensivo

MULTI · Riesgo productivo · Descarte · Punto de equilibrio

Versión definitiva · Octubre 2026

En un sistema intensivo, cada kilo descartado ya consumió inversión.

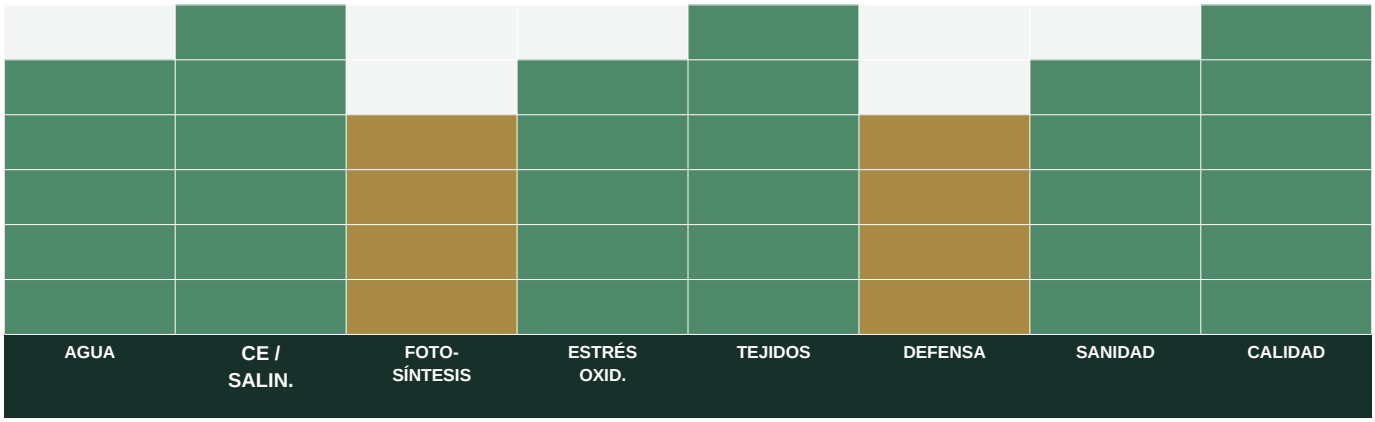
1. EL FACTOR LIMITANTE NO ES SIEMPRE EL MISMO

Todo agrónomo conoce la lógica del tonel de Liebig: la capacidad del sistema no está determinada por la tabla más larga, sino por la más corta.

En tomate de invernadero, controlar parte del ambiente no elimina el riesgo. La restricción dominante puede aparecer como agua, conductividad eléctrica/salinidad, fotosíntesis, estrés oxidativo, tejidos, defensa, sanidad o calidad del fruto. En un sistema intensivo, cualquiera de ellas puede transformar rápidamente producción potencial en descarte o menor producción comercializable.

LA TABLA MÁS CORTA PUEDE CAMBIAR. LOS KILOS COMERCIALIZABLES QUE BUSCAMOS PROTEGER SON LOS MISMOS.

EL TONEL DE LIEBIG, LLEVADO AL INVERNADERO



Esquema conceptual: las alturas no representan magnitudes experimentales. Ilustran que distintas restricciones pueden transformarse en el factor limitante dentro de un mismo ciclo.

2. MULTI: MÁS DE UNA POSIBLE TABLA LIMITANTE

La transversalidad del silicio no debe explicarse como una lista de beneficios independientes. Su lógica económica es que una misma inversión participa en funciones que, según el momento del ciclo, pueden transformarse en limitantes de kilos comercializables, condición o costo.

MULTI NO MULTIPLICA EL MISMO BENEFICIO. MULTIPLICA LAS OPORTUNIDADES DE PROTEGERLO.

3. DEL “AGREGAR UN PRODUCTO” A REORDENAR LA INVERSIÓN

Si SiliGreen se analiza únicamente como un nuevo producto que se agrega sobre todo lo que el invernadero ya utiliza, el razonamiento comienza incompleto.

La pregunta más útil es: ¿qué parte de la estrategia actual puede integrarse, revisarse o racionalizarse al incorporar una herramienta transversal?

- Integrar el AOS a fertirriego o aplicaciones ya programadas, cuando la compatibilidad físico-química, la calidad del agua y el momento agronómico lo permitan.
- Revisar herramientas cuyas funciones puedan estar parcialmente superpuestas, sin asumir que compartir un objetivo las vuelve equivalentes.
- Reducir correcciones o rescates sólo cuando esa reducción ocurre efectivamente y puede demostrarse en el programa real.

NO ES SIMPLEMENTE AGREGAR UNA INVERSIÓN. ES REORDENAR LA PROTECCIÓN Y LOS COSTOS QUE YA EXISTEN.

4. LA INTEGRACIÓN OPERATIVA TAMBIÉN ES ECONOMÍA

SiliGreen aporta silicio como ácido ortosilícico estabilizado. Cuando su uso puede integrarse de forma compatible a una operación que igualmente iba a realizarse, no aparece una pasada exclusiva adicional.

En un invernadero intensivo, una intervención adicional puede involucrar operador, preparación, agua, equipo, tiempo y reorganización del manejo. Por eso el análisis debe distinguir siempre costo de producto y costo de operación.

COSTO DEL PRODUCTO ≠ COSTO DE UNA OPERACIÓN EXCLUSIVA.

5. RACIONALIZAR NO ES QUITAR POR QUITAR

Racionalizar significa revisar duplicaciones funcionales y decidir, sobre el programa real, qué herramientas siguen siendo complementarias y cuáles pueden reducirse, reorganizarse o retirarse sin comprometer el resultado agronómico.

Compartir un objetivo agronómico no significa compartir mecanismo ni ser productos intercambiables.

6. TABLA DE DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA

La tabla no dice qué sacar. Muestra dónde vale la pena preguntar si se está pagando más de una vez por una función similar. Las funciones consideradas se apoyan en evidencia directa en tomate sobre agua/salinidad, fotosíntesis, BER, firmeza, calidad y defensa [3-11].

Función buscada	Herramientas frecuentes	Aporte transversal del Si	Pregunta para el asesor
Funcionamiento bajo agua/CE	Ajuste de riego y CE, osmoprotectores, bioestimulantes	Fotosíntesis, rendimiento y productividad del agua bajo estrés combinado [3,4]	¿Cada herramienta aporta algo distinto o existe superposición parcial?
Daño oxidativo	Bioestimulantes antiestrés, antioxidantes	Participación en respuesta antioxidante y conservación fisiológica [9-11]	¿Estoy pagando otra intervención principalmente por esta misma función?
Ca / BER / condición	Calcio, uniformidad de riego, manejo de CE	Menor BER bajo salinidad y menor sensibilidad a deficiencia moderada de Ca [5,8]	¿La herramienta es complementaria o cubre parcialmente el mismo riesgo?
Firmeza y tejidos	Calcio, herramientas de firmeza, manejo postcosecha	Pared celular, firmeza y vida útil [5-7]	¿La mejora realmente cambia descarte, categoría o vida comercial?
Preparación defensiva	Elicitores, biológicos, programas sanitarios	Genes y enzimas de defensa frente a Alternaria y Ralstonia [9,10]	¿La función puede integrarse sin retirar controles específicos necesarios?
Rendimiento y calidad bajo estrés	Nutrición, bioestimulantes, ajustes de manejo	Rendimiento, azúcares, sólidos, vitamina C y licopeno [3,4]	¿Qué variable comercial concreta se medirá?
Desbalance mineral / estrés	Correcciones nutricionales	ch-OSA: fotosíntesis y rendimiento comercial bajo estrés por Mn [11]	¿Existe una restricción mineral real que justifique la intervención?

EVIDENCIA TÉCNICA → POSIBILIDAD DE REVISAR EL PROGRAMA. COSTO REALMENTE ELIMINADO → AHORRO ECONÓMICO CONTABILIZABLE.

7. EL COSTO DEBE PARTIR DEL PRECIO REAL

Para modelar el punto de equilibrio utilizamos como referencia económica un programa de 1,6 L/ha por ciclo (4 × 400 cc/ha). Es una base de cálculo del dossier, no un protocolo agronómico cerrado.

Tramo	Volumen de referencia	Precio neto/L	Costo neto/ha
Lista	Referencia	CL$65.000	CL$104.000
Silver	Desde 50 L	CL$45.500	CL$72.800
Gold	Desde 200 L	CL$42.250	CL$67.600
Platino	Desde 300 L	CL$39.000	CL$62.400

Silver se utiliza como escenario económico base para una operación de escala comercial. Gold y Platino muestran cómo el volumen reduce aún más el costo real por hectárea.

EL PRECIO LISTA DEFINE LA REFERENCIA. LA ESCALA DEFINE EL COSTO REAL.

8. ESCENARIO ECONÓMICO DE TRABAJO

ODEPA publicó para Valparaíso una ficha de tomate de invernadero 2020/21 con 164.700 kg/ha, CL$390/kg a productor, CL$64.233.000/ha de ingreso, CL$36.802.890/ha de costos totales y CL$27.430.110/ha de margen neto [1]. Es una estructura histórica de caso, no un presupuesto 2026. ODEPA informó además que el precio mayorista del tomate subió 28% en septiembre de 2026 respecto de agosto, recordando que el valor de cada kilo cambia durante la temporada [2].

164.700 kg/ha × CL$390/kg = CL$64.233.000/ha de valor bruto histórico [1]

9. PUNTO DE EQUILIBRIO: SILVER

Con Silver, el costo del programa es CL$72.800/ha. Sobre la referencia histórica ODEPA, el punto de equilibrio equivale a 0,113% del valor bruto: 187 kg/ha a CL$390/kg, o aproximadamente CL$0,44 por kilo sobre una producción de 164.700 kg/ha.

0,113% NO ES UNA RESPUESTA ESPERADA DE SILIGREEN. ES EL UMBRAL ECONÓMICO QUE DEBE SER PROTEGIDO PARA PAGAR EL PROGRAMA SILVER.

10. LA ESCALA REDUCE EL UMBRAL

Condición	Costo/ha	% del valor bruto histórico	Kg equivalentes a CL$390/kg
Lista	CL$104.000	0,162%	267 kg
Silver	CL$72.800	0,113%	187 kg
Gold	CL$67.600	0,105%	173 kg
Platino	CL$62.400	0,097%	160 kg

La escala no cambia la fisiología de la tecnología; cambia la economía de adopción. A menor costo real por hectárea, menor cantidad de valor necesita preservar el sistema para cubrir la inversión.

11. LA RACIONALIZACIÓN ES UNA SEGUNDA ETAPA

Primero se establece el costo real de SiliGreen. Después se restan únicamente los costos que efectivamente dejan de ocurrir. Una superposición funcional por sí sola no es un ahorro.

COSTO NETO A RECUPERAR = COSTO REAL DE SILIGREEN – COSTOS EFECTIVAMENTE ELIMINADOS O REDUCIDOS

Costo realmente racionalizado	Saldo a recuperar	% sobre CL$64.233.000	Kg a CL$390/kg
CL$0	CL$72.800	0,113%	187 kg
CL$20.000	CL$52.800	0,082%	135 kg
CL$40.000	CL$32.800	0,051%	84 kg
CL$60.000	CL$12.800	0,020%	33 kg
CL$72.800	CL$0	0%	0 kg

Ejemplo: si una revisión técnica elimina efectivamente CL$40.000/ha de costos, el saldo Silver a recuperar baja a CL$32.800/ha: cerca de 84 kg de tomate al precio histórico de referencia. El ahorro se contabiliza sólo cuando la reducción es real.

12. INTEGRAR UNA PASADA NO ES LO MISMO QUE ELIMINAR UNA PASADA

Integración: SiliGreen entra en una fertirrigación o aplicación que igualmente iba a realizarse; no aparece una nueva operación exclusiva.

Eliminación: una intervención que antes se realizaba deja efectivamente de hacerse. Sólo entonces pueden contabilizarse como ahorro la operación y, si corresponde, el producto retirado.

NO CONTAR DOS VECES LA MISMA ECONOMÍA.

13. EL RETORNO NO NECESITA VENIR SIEMPRE POR LA MISMA VÍA

Un ciclo puede devolver valor principalmente por producción preservada; otro por menor descarte; otro por firmeza y condición; otro por sanidad; otro por costos de corrección o rescate evitados. El origen puede cambiar. El objetivo económico no.

- Producción preservada
- Menor descarte
- Condición y firmeza comercial
- Condición sanitaria
- Intervenciones efectivamente evitadas
- Racionalización real del programa

MÚLTIPLES VÍAS DE PROTECCIÓN. UNA SOLA CONTABILIDAD DEL BENEFICIO.

14. PRODUCIR NO ES LO MISMO QUE COMERCIALIZAR

INGRESO = KG COMERCIALIZABLES × VALOR REAL RECIBIDO POR KG

En tomate de invernadero, una respuesta fisiológica adquiere valor económico cuando protege una variable que el negocio realmente remunera: kilos comercializables y valor efectivo por esos kilos. Un fruto producido pero descartado no completa la construcción del margen.

15. EL DESCARTE ES INVERSIÓN ACUMULADA QUE NO FACTURA

Un fruto con blossom-end rot (BER), pérdida severa de firmeza o condición no vendible ya consumió buena parte del agua, fertilización, mano de obra, estructura y tiempo del ciclo. Por eso el descarte tardío es económicamente distinto de “no producir un kilo”.

En tomate hidropónico bajo salinidad, el Si sostuvo mayor rendimiento, redujo la incidencia de BER y mantuvo mejor firmeza después del almacenamiento [5]. En otro trabajo, 1,2 mM de Si aumentó 13,23% la firmeza del fruto y modificó el metabolismo de pared celular [6]. En invernadero, el ácido monosilícico fue la fuente que produjo la mayor respuesta de firmeza y ácido ascórbico a 0,4 g/L [7].

La contabilidad correcta no es sumar “BER + firmeza + rendimiento” como tres beneficios si protegen la misma fruta. Se contabiliza una sola vez el valor comercial efectivamente preservado.

16. RESCATES: EL COSTO NO ES SÓLO EL INSUMO

Una intervención correctiva o sanitaria puede involucrar producto, operador, equipo, agua, tiempo y reorganización. Además existe un costo previo: el daño que ya ocurrió antes del rescate.

La ficha ODEPA 2020/21 incluye 14 jornadas de aplicación fitosanitaria, maquinaria para aplicaciones y múltiples productos de control [1]. La estructura es histórica, pero recuerda que una intervención nunca es sólo el precio del insumo. La evidencia directa en tomate muestra respuestas de defensa asociadas al Si frente a Alternaria solani y Ralstonia solanacearum [9,10].

EL COSTO DEL RESCATE = INTERVENCIÓN + OPERACIÓN + DAÑO PREVIO QUE YA NO PUEDE RECUPERARSE.

17. LA RESTRICCIÓN DOMINANTE PUEDE CAMBIAR DENTRO DEL MISMO CICLO

En un cultivo protegido, la tabla más corta puede desplazarse durante semanas: establecimiento y raíz, agua y CE, crecimiento, floración y cuaja, llenado, sanidad, condición de fruto y continuidad de cosecha.

Un período puede poner el límite en agua/salinidad y fotosíntesis; otro en BER y condición; otro en presión sanitaria. La evidencia en tomate confirma que el Si puede participar en varias de esas funciones, pero no obliga a que todas sean limitantes al mismo tiempo [3-11].

LA RESTRICCIÓN PUEDE CAMBIAR. LA NECESIDAD DE PROTEGER EL MARGEN, NO.

18. MULTI ES MANEJO DEL RIESGO PRODUCTIVO

La utilidad económica de una herramienta transversal no depende de acertar una sola amenaza. Depende de que pueda participar en la protección del sistema cuando cambia la naturaleza de la restricción.

Si una misma fruta fue preservada simultáneamente por mejor funcionamiento bajo salinidad, menor estrés oxidativo y mayor integridad de tejido, económicamente sigue siendo la misma fruta. MULTI aumenta las vías posibles de protección; no autoriza a contabilizar dos veces el mismo resultado.

UNA MISMA INVERSIÓN. DISTINTAS POSIBILIDADES DE PROTEGER VALOR SEGÚN EL DESAFÍO DEL CICLO.

19. CÓMO LLEVAR ESTA LÓGICA A UN INVERNADERO REAL

PASO 1 · DEFINIR EL COSTO REAL	Identificar el tramo comercial correspondiente. No utilizar automáticamente precio lista.

PASO 2 · REVISAR EL PROGRAMA EXISTENTE	Identificar funciones ya pagadas, posibles superposiciones, operaciones integrables y costos que realmente pueden reducirse.
PASO 3 · CALCULAR EL VALOR QUE TODAVÍA DEBE PROTEGERSE	Expresarlo como % del valor bruto, kg comercializables, CL$/kg o costos realmente evitados.

20. ¿HEMOS EVALUADO SERIAMENTE EL USO DE SILICIO EN ESTE INVERNADERO?

No usar silicio puede ser una decisión técnica perfectamente válida. No haberlo estudiado no lo es.

¿TENGO JUSTIFICACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS PARA NO USAR SILICIO?

- ¿Las principales restricciones de este invernadero son abordables mediante funciones en las que participa el Si?
- ¿Qué herramientas utiliza hoy el programa para cubrir agua/CE, estrés, BER, firmeza, calidad y defensa?
- ¿Existe superposición funcional o las herramientas son claramente complementarias?
- ¿Se evaluó el costo real según escala y condición comercial?
- ¿Qué variable se medirá: kg comerciales, descarte, BER, firmeza, calidad, sanidad o costo evitado?
- ¿Se ha realizado, o al menos diseñado, una prueba que permita decidir con resultados?

NO USARLO PUEDE SER UNA DECISIÓN TÉCNICA. NO HABERLO ESTUDIADO, NO.

21. CONCLUSIÓN

El silicio no debería incorporarse a un invernadero porque exista una moda, porque otro productor lo utilice o porque una empresa lo recomiende. Debe evaluarse porque existe una pregunta económica legítima:

¿PUEDE UNA HERRAMIENTA TRANSVERSAL PROTEGER SUFICIENTE PRODUCCIÓN COMERCIALIZABLE —O PERMITIR SUFICIENTE REORDENAMIENTO DEL PROGRAMA— COMO PARA JUSTIFICAR SU COSTO REAL?

En un sistema intensivo, esa pregunta merece responderse con números. El precio lista define una referencia; la escala define el costo real; los kilos comercializables definen el ingreso; el descarte muestra cuánto valor puede perderse después de haber incurrido en gran parte del costo; y el riesgo del ciclo explica por qué una herramienta transversal puede seguir siendo relevante aunque cambie la restricción dominante.

El tomate puede perder margen por agua, CE, fotosíntesis, BER, firmeza, sanidad o calidad. El valor de una herramienta transversal está precisamente en no depender de acertar una sola vía de pérdida.

No sabemos dónde va a estar el problema esta temporada; el silicio prepara la planta para responder.

Por eso la tranquilidad del silicio está en su transversalidad: una misma inversión, distintas posibilidades de proteger kilos comercializables y margen según el desafío del ciclo.

REFERENCIAS ECONÓMICAS Y CIENTÍFICAS

[1] ODEPA. Ficha técnico-económica Tomate invernadero e infraestructura, Región de Valparaíso, temporada 2020/21. Rendimiento, costos, precio a productor y estructura de caso.

[2] ODEPA. Boletín de hortalizas, octubre 2026. Precios nacionales y evolución mensual del tomate en mercados mayoristas.

[3] Dou, Z. et al. (2023). Silicon application mitigated the adverse effects of salt stress and deficit irrigation on drip-irrigated greenhouse tomato. Agricultural Water Management 289:108526. DOI 10.1016/j.agwat.2023.108526.

[4] Dou, Z. et al. (2023). Exogenous silicon application improves fruit yield and quality of drip-irrigated greenhouse tomato under combined drought and salt stress. Scientia Horticulturae 321:112352. DOI 10.1016/j.scienta.2023.112352.

[5] Costan, A., Stamatakis, A., Chrysargyris, A., Petropoulos, S.A. & Tzortzakis, N. (2020). Interactive effects of salinity and silicon application on tomato growth, physiology and shelf-life of fruit produced hydroponically. Journal of the Science of Food and Agriculture 100:732-743. DOI 10.1002/jsfa.10076.

[6] Wang, J. et al. (2024). Effect of exogenous silicon treatments on cell wall metabolism and textural properties of tomato fruits. Scientia Horticulturae 336:113407. DOI 10.1016/j.scienta.2024.113407.

[7] dos Santos, M.M.M. et al. (2022). Biofortification of tomato with stabilized alkaline silicate and silicic acid, nanosilica, and potassium silicate via leaf increased ascorbic acid content and fruit firmness. Journal of Plant Nutrition 45:896-903. DOI 10.1080/01904167.2021.1994599.

[8] de Souza Alonso, T.A. et al. (2020). Silicon spraying alleviates calcium deficiency in tomato plants, but Ca-EDTA is toxic. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. DOI 10.1002/jpln.202000055. [9] Gulzar, N., Ali, S., Shah, M.A. & Kamili, A.N. (2021). Silicon supplementation improves early blight resistance in tomato by modulating defense-related genes and antioxidant enzymes. 3 Biotech 11:232. DOI 10.1007/s13205-021-02789-6. [10] Wang, L. et al. (2022). Silicon Controls Bacterial Wilt Disease in Tomato Plants and Inhibits the Virulence-Related Gene Expression of Ralstonia solanacearum. International Journal of Molecular Sciences 23:6965. DOI 10.3390/ijms23136965. [11] Kleiber, T., Calomme, M. & Borowiak, K. (2015). The effect of choline-stabilized orthosilicic acid on photosynthesis activity and yield of tomato grown under Mn stress. Plant Physiology and Biochemistry 96:180-188. DOI 10.1016/j.plaphy.2015.07.033.

Nota metodológica: la ficha ODEPA 2020/21 se utiliza como estructura económica histórica, no como presupuesto 2026. Los precios y rendimientos deben reemplazarse por los datos reales de cada productor. Los resultados de estudios con distintas fuentes de Si se utilizan para sustentar funciones y mecanismos; las decisiones comerciales deben validarse en el sistema real.

NEWGREEN CHILE
+56 9 4475 6995 · comercial@newgreen.cl · www.newgreen.cl