BIBLIOTECA DE SÍLICE

CAPÍTULO CT-NG · NOGAL · CHILE 3.0

ÁCIDO ORTOSILÍCICO EN NOGAL

CHILE

Agua · raíz · madera · sanidad · llenado · calidad · permanencia

EN NOGAL, RECUPERAR EL ÁRBOL DESPUÉS DEL ESTRÉS NO SIGNIFICA RECUPERAR LA COSECHA QUE YA SE PERDIÓ.

PROTEGER EL RESULTADO SIGNIFICA PROTEGER RAÍZ, AGUA, MADERA, FRUTO Y CALIDAD EN EL MOMENTO EN QUE CADA UNO SE DEFINE.

Documento técnico · Multitransversalidad y protección multivía

Equipo Técnico I+D · NewGreen Chile · Octubre 2026

RESUMEN EJECUTIVO

Chile cuenta con 41.722 ha de nogal en 2025, equivalentes a 10,9% de la superficie frutícola nacional. La Región Metropolitana concentra 14.264,6 ha, cerca de 34% del total. El cultivo, por tanto, no es marginal: representa una plataforma productiva de gran escala y alta exposición a pérdidas acumulativas de agua, sanidad, madera y calidad comercial (ODEPA, 2026).

Nogal Chile 3.0 no parte preguntando si el silicio “aumenta kilos”. Parte desde una pregunta más exigente: qué parte del valor comercial del huerto puede perderse, en qué momento y por qué vía. En nogal, la cadena incluye número de frutos, peso de nuez seca, calibre, llenado, porcentaje y peso de mariposa, color, sanidad, condición y permanencia productiva del árbol.

La evidencia directa en Juglans regia demuestra una sensibilidad marcada al déficit hídrico y, especialmente, al momento del déficit. Trentacoste et al. (2026), trabajando tres temporadas con Chandler en Mendoza, observaron reducciones de rendimiento cercanas a 25-29% bajo déficit sostenido o restringido a primavera. El tratamiento con 50% ETc sólo en primavera recuperó rápidamente su estado hídrico después de restituir el riego, pero no recuperó el crecimiento de la nuez ni el rendimiento final. Durán Zuazo et al. (2025) encontraron de manera independiente reducciones proporcionales de rendimiento y cambios en peso, tamaño, color y composición de la mariposa bajo 33, 50 y 75% de la demanda hídrica.

La evidencia directa de Si en nogal productivo todavía es limitada, pero ya existe evidencia fisiológica y molecular dentro del género Juglans. Dos estudios independientes de 2025 en Juglans sigillata muestran que el Si modifica raíz, pared celular, homeostasis iónica, ajuste osmótico, ROS, antioxidantes, transportadores, hormonas y componentes del fotosistema II. Es evidencia de capacidad de respuesta multivía del género; no es todavía una demostración de +X% de rendimiento en Chandler chileno.

Chile aporta una base sanitaria especialmente fuerte. En 49 huertos de la zona central, la prevalencia promedio de pudrición de raíces y cuello alcanzó 15,7% y se confirmó Phytophthora cinnamomi. Un estudio posterior en cinco regiones identificó P. cinnamomi como la especie más frecuente y demostró patogenicidad de P. cinnamomi y P. citrophthora en J. regia. En madera, siete huertos Chandler del centro de Chile presentaron 20-76% de incidencia de muerte regresiva; Botryosphaeriaceae y Diaporthaceae fueron patogénicas en frutos, hojas, brotes y ramillas. En heridas de poda, la susceptibilidad disminuyó con la edad de la herida y la dispersión de conidias se asoció fuertemente con lluvia (r = 0,81).

MULTI = MULTIESTRUCTURALIDAD + MULTITRANSVERSALIDAD + PROTECCIÓN MULTIVÍA + PROTECCIÓN MULTIMOMENTO

La conclusión de este capítulo no es que todas las respuestas ocurrirán juntas ni que AOS reemplaza riego, cobre, fosfitos, fungicidas o insecticidas. La conclusión es más precisa: el nogal puede perder valor por rutas distintas y en ventanas distintas; una herramienta fisiológicamente transversal debe evaluarse por cuántos puntos de esa cadena puede proteger con evidencia suficiente y sin duplicar el mismo resultado.

1. EL RESULTADO COMERCIAL DEL NOGAL NO TERMINA EN KG/HA

El rendimiento por hectárea es necesario, pero insuficiente. Dos huertos pueden entregar los mismos kg de nuez seca y terminar con retornos diferentes si cambian el porcentaje de mariposa, calibre, color, sanidad o condición. La unidad técnica y económica completa es:

KG PRODUCIDOS → KG COSECHADOS → KG SECOS → CALIBRE → % Y PESO DE MARIPOSA → COLOR → SANIDAD → CATEGORÍA → VALOR REAL

Una respuesta fisiológica sólo adquiere peso productivo cuando puede conectarse con una de esas variables. Por eso este capítulo evita sumar mecanismos como si fueran beneficios independientes. Si agua, ROS y fotosíntesis terminan protegiendo los mismos 60 kg de nuez, fisiológicamente existen varias vías; económicamente existen 60 kg protegidos.

LOS MECANISMOS SE EXPLICAN TODOS. LA MISMA NUEZ SE CONTABILIZA UNA SOLA VEZ.

2. CHILE COMO FILTRO DE EVIDENCIA, NO COMO CAPÍTULO DE RELLENO

Chile no constituye un ambiente único. La importancia relativa de agua, calor, Xanthomonas, Phytophthora, enfermedades de madera, polillas y color cambia entre Valparaíso, Región Metropolitana, O’Higgins y Maule, según suelo, portainjerto, edad del huerto, acumulación térmica, disponibilidad de agua, presión sanitaria y logística de cosecha. Por eso la evidencia internacional se usa en tres niveles: primero el mismo cultivo en Chile; luego Juglans regia en ambientes comparables; finalmente mecanismos convergentes cuando todavía falta validación específica.

El eje productivo principal es Chandler porque domina gran parte de los sistemas intensivos modernos y porque buena parte de la evidencia reciente de agua, calidad y sanidad está construida sobre este cultivar. Cuando aparece evidencia de Cisco, J. sigillata o portainjertos clonales, se identifica explícitamente para no convertir diferencias genéticas en equivalencias.

3. AGUA: EL MOMENTO DEL ESTRÉS PUEDE SER MÁS IMPORTANTE QUE SU DURACIÓN

3.1 Chandler en Mendoza: tres temporadas y un daño que no se recupera

Trentacoste et al. (2026) evaluaron Chandler durante tres temporadas consecutivas (2022-2025) en Mendoza, Argentina, bajo cuatro estrategias: 100% ETc (T100), 75% ETc sostenido (T75), 125% ETc (T125) y 50% ETc sólo durante primavera seguido de 100% ETc hasta poscosecha (T50/100). El diseño fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

T75 y T50/100 redujeron el rendimiento aproximadamente 25-29% frente a T100 y produjeron nueces y mariposas más pequeñas. El hallazgo más importante fue temporal: T50/100 produjo una caída marcada del potencial hídrico durante primavera y recuperó rápidamente ese estado cuando volvió el riego completo, pero la recuperación hídrica no restituyó el crecimiento de nuez ni el rendimiento perdido. Los autores concluyen que las etapas fenológicas tempranas son críticas para definir el potencial productivo.

RECUPERAR EL ESTADO HÍDRICO NO SIGNIFICA RECUPERAR EL POTENCIAL PRODUCTIVO QUE YA SE PERDIÓ.

3.2 Tres años en Chandler y Cisco: genotipo también cambia la respuesta

Durán Zuazo et al. (2025) compararon 33, 50, 75 y 100% de la demanda hídrica durante tres años en Chandler y Cisco. En Chandler, los rendimientos medios fueron 6,7; 6,4; 12,2 y 13,9 kg/árbol para 33, 50, 75 y 100%, respectivamente. En Cisco fueron 8,0; 11,6; 11,0 y 15,6 kg/árbol. Además del rendimiento, cambiaron peso, tamaño, color, minerales y perfiles de ácidos grasos de la mariposa.

La lectura correcta no es que “X% de déficit produce Y% de pérdida” en cualquier huerto chileno. La lectura es que la respuesta productiva al agua es cuantificable, persistente y dependiente de cultivar. Ese mismo criterio debe aplicarse a Si: fuente, dosis, vía, genotipo, momento y ambiente forman parte de la tecnología.

4. CALOR + SEQUÍA: LA VÍA OXIDATIVA EXISTE DIRECTAMENTE EN CHANDLER

Un estudio de 2025 en plantas propias de Chandler bajo condiciones controladas evaluó sequía, calor y la combinación de ambos. Bajo estrés combinado, el MDA aumentó 2,55 veces y el H2O2 2,05 veces respecto del control; el índice de estabilidad de membranas disminuyó y la clorofila total cayó aproximadamente 37%. PAL, PPO, SOD, CAT y guayacol-peroxidasa aumentaron entre 2,5 y 6 veces, mostrando una activación defensiva intensa frente al daño combinado.

Este ensayo no mide cosecha. Su valor es mecanístico y directo en J. regia: demuestra que déficit hídrico y calor convergen sobre membranas, ROS, pigmentos, fotosistema y defensa. Por eso no corresponde analizar agua, temperatura y estrés oxidativo como capítulos aislados cuando pueden formar parte de una misma cadena que finalmente afecta llenado y calidad.

UNA RESPUESTA FISIOLÓGICA NO SE CONVIERTE AUTOMÁTICAMENTE EN KG. PERO SIN FISIOLOGÍA FUNCIONAL NO HAY KG QUE PROTEGER.

5. EVIDENCIA DIRECTA DE SILICIO DENTRO DEL GÉNERO JUGLANS

La evidencia directa Si × nogal productivo todavía es menos abundante que en cultivos como arroz, frutilla o cerezo. Eso obliga a ser más rigurosos, no más tímidos: distinguir exactamente qué está demostrado dentro del género y qué todavía requiere validación en Chandler.

5.1 Juglans sigillata × aluminio: raíz, antioxidantes, fotosistema y pared celular

En 2025, un estudio multi-ómico en J. sigillata sometido a toxicidad por Al mostró que el Si mejoró el crecimiento radicular, redujo la acumulación de Al y aumentó POD, SOD y CAT, junto con azúcares solubles y prolina. Paralelamente disminuyeron MDA, H2O2 y O2-. El transcriptoma identificó cambios en genes asociados a hormonas, componentes del fotosistema II, transportadores, pared celular y metabolismo de fenilalanina, galactosa y triptófano (Plant Physiology and Biochemistry 221:109604).

La fuerza del trabajo está en mostrar respuesta simultánea en estructuras y procesos distintos dentro de Juglans. Su límite también debe quedar claro: Al no es la principal contingencia productiva del nogal chileno y J. sigillata no es Chandler. El estudio demuestra capacidad fisiológica de respuesta a Si; no demuestra rendimiento comercial en Chile.

5.2 Juglans sigillata × cadmio: segunda validación independiente

Shang et al. (2025) evaluaron cuatro tratamientos: control, Si, Cd y Cd+Si. Frente a Cd solo, Si redujo la acumulación de Cd 9% en raíces, 46,1% en tallos y 41,6% en hojas. SOD aumentó 50,64%, POD 118,35% y CAT 9,83%; MDA disminuyó 12,65%. Los autores identificaron además regulación de transportadores, genes de pared celular, ajuste osmótico y rutas de metabolismo secundario.

Dos estreses diferentes, dos estudios independientes y una repetición de las mismas grandes familias funcionales: raíz, transporte, pared, homeostasis, osmoprotección y defensa antioxidante. Eso constituye evidencia de multitransversalidad fisiológica dentro del género.

MISMO GÉNERO + RESPUESTAS REPETIDAS EN VÍAS DIFERENTES = HIPÓTESIS FUERTE. TODAVÍA NO = PROMESA DE RENDIMIENTO EN CHANDLER.

6. RAÍZ Y CUELLO: EL PROBLEMA CHILENO ESTÁ DEMOSTRADO

6.1 Cuarenta y nueve huertos: 15,7% de prevalencia

Guajardo et al. (2017) prospectaron 49 huertos de nogal de Chile central durante 2015-2016. La prevalencia promedio de pudrición de raíces y cuello fue 15,7%. Los árboles afectados presentaron decaimiento, clorosis, caída de hojas, pudrición de raíces finas y, en algunos casos, cancros oscuros en la corona. Se confirmó Phytophthora cinnamomi.

6.2 Cinco regiones: P. cinnamomi y P. citrophthora patógenas en J. regia

Guajardo et al. (2019) ampliaron el estudio a cinco regiones del centro de Chile, con nueve huertos por región. Se aislaron P. cinnamomi, P. citrophthora, P. humicola y otros oomicetos. P. cinnamomi fue la especie más frecuentemente aislada. En pruebas de patogenicidad, P. cinnamomi y P. citrophthora causaron pudrición de raíces y cuello en J. regia. P. cinnamomi produjo defoliación y daño radicular desde siete días postinoculación; P. citrophthora generó necrosis cortical entre 0,5 y 7,6 cm a los 14 días.

6.3 La propia genética del portainjerto demuestra que la defensa del hospedero importa

Alvarado et al. (2020) compararon J. regia con portainjertos clonales Vlach, VX211 y RX1 inoculados con P. cinnamomi y P. citrophthora obtenidos desde huertos chilenos. J. regia fue susceptible y murió después de la inoculación, mientras los portainjertos clonales mostraron índices de daño similares a sus controles no inoculados. La respuesta estuvo asociada a dinámica de carbohidratos, fenoles y crecimiento radicular.

Esto es conceptualmente importante para el Si: la severidad de una misma presión sanitaria cambia según la capacidad del hospedero para responder. No prueba que AOS reemplace control de Phytophthora; demuestra por qué una estrategia que modifique raíz, pared y defensa puede tener una hipótesis agronómica razonable.

7. Si × PHYTOPHTHORA: MISMO PATÓGENO, OTRO FRUTAL LEÑOSO

En Hass, un trabajo de 2023 pretrató plantas durante diez días con silicato de potasio y luego inoculó P. cinnamomi. Se realizaron tres experimentos independientes, con 288 plantas. POD y PPO alcanzaron sus mayores actividades tempranamente después de la inoculación y las plantas tratadas mostraron una respuesta defensiva distinta frente al patógeno.

La evidencia no es nogal y no debe presentarse como control probado de P. cinnamomi en Chandler. Su valor convergente es fuerte porque combina: mismo patógeno, hospedero leñoso perenne,

tratamiento con Si, raíz y activación defensiva. La pregunta de validación en nogal chileno es concreta: ¿puede un programa AOS reducir vulnerabilidad de raíz y cuello bajo presión real de P. cinnamomi sin sustituir las medidas específicas de manejo?

8. MADERA: LA SANIDAD DEL NOGAL ES MULTIESTRUCTURAL

8.1 Siete huertos Chandler: 20-76% de incidencia de muerte regresiva

Iqbal et al. (2026) prospectaron siete huertos Chandler de 7 a 30 años en Chile central durante 2022-2023. La incidencia de muerte regresiva de ramas y ramillas varió entre 20 y 76%. De 210 muestras afectadas se recuperaron 65 aislamientos. Se identificaron cuatro Botryosphaeriaceae - Diplodia mutila, Dothiorella sarmentorum, Neofusicoccum nonquaesitum y N. parvum - y tres Diaporthaceae - Diaporthe australafricana, D. foeniculina y D. patagonica.

Las pruebas de patogenicidad confirmaron capacidad de infección en frutos, hojas, brotes verdes y ramillas. Las Botryosphaeriaceae fueron significativamente más agresivas que las Diaporthaceae. El resultado es una demostración directa de multiestructuralidad sanitaria dentro del mismo cultivo: fruto, hoja, brote y madera pueden pertenecer a la misma red de riesgo.

8.2 Heridas de poda: edad de la herida × lluvia × patógeno

Iqbal et al. (2025) inocularon heridas de poda de Chandler a 1, 15, 30 y 45 días después de poda durante dos inviernos en Maule. La susceptibilidad disminuyó marcadamente a medida que la herida envejecía. En 2024, D. mutila produjo lesiones de 52,5 mm en heridas de un día, N. parvum 45,2 mm y N. nonquaesitum 42,1 mm. A 15 días, D. mutila todavía produjo 36,9 mm. La dispersión de conidias de Botryosphaeriaceae se correlacionó fuertemente con lluvia ($r = 0,81$; $p < 0,0001$) y positivamente con humedad relativa.

NO EXISTE “RIESGO SANITARIO” EN ABSTRACTO. EXISTE PATÓGENO × TEJIDO × HERIDA × EDAD DE LA HERIDA × HUMEDAD × MOMENTO.

Para AOS, la consecuencia es metodológica: si queremos estudiar defensa o integridad de tejidos, el ensayo debe posicionarse antes o durante una ventana real de vulnerabilidad. Aplicar después de que la infección se estableció y esperar un “rescate” no prueba adecuadamente una tecnología preventiva.

9. PESTE NEGRA: ALTA PRESIÓN SANITARIA Y DEPENDENCIA DE UNA VÍA ESPECÍFICA

La peste negra causada por Xanthomonas arboricola pv. juglandis (Xaj) compromete tejidos jóvenes y fruto. En Chile, el problema tiene además una dimensión de manejo: Moya-Elizondo et al. reportaron sistemas con 12-14 aplicaciones de bactericidas cúpricos por temporada en Biobío. El mismo trabajo

recuerda que, en un estudio chileno previo de 131 cepas, 29,8% mostró crecimiento por sobre el umbral de resistencia in vitro a Cu2+.

Esto no convierte al Si en bactericida. Sí demuestra que una estrategia sanitaria sustentada de manera repetida en una vía específica puede enfrentar límites biológicos. La evidencia convergente Si-Xanthomonas en caña de azúcar mostró menor índice e incidencia de enfermedad junto con menor MDA/H2O2 y mayor PAL, JA y SA. Es otro hospedero y otra especie de Xanthomonas: sólo permite sustentar una hipótesis de modificación de la respuesta del hospedero.

AOS NO REEMPLAZA EL COBRE POR DEFINICIÓN. SU HIPÓTESIS ES AGREGAR UNA CAPA ESTRUCTURAL Y DEFENSIVA, NO SUPLANTAR EL CONTROL ESPECÍFICO.

10. POLILLAS: UN PROBLEMA ECONÓMICO REAL, PERO NO UNA PROMESA DEL Si

Cydia pomonella y Ectomyelois ceratoniae forman parte de las plagas relevantes del nogal. El daño temprano puede eliminar frutos; el daño tardío puede transformar una nuez ya producida y cargada de costos en descarte. Esa diferencia es crítica para el Dossier Económico.

Sin embargo, no existe evidencia suficiente para afirmar que un programa AOS permita reducir insecticidas o feromonas en nogal chileno. La literatura general describe participación del Si en resistencia frente a algunos herbívoros, pero trasladar esa evidencia a Cydia o Ectomyelois sería excesivo. En este capítulo la vía se mantiene como pendiente de validación específica y su ahorro económico atribuible a AOS es cero hasta demostrar lo contrario.

11. LLENADO, COLOR Y CALIDAD: PRODUCIR LOS MISMOS KG NO SIGNIFICA PRODUCIR EL MISMO VALOR

11.1 Color y ambiente directamente en Chandler chileno

Fuentealba et al. (2017) estudiaron nueces Chandler de dos zonas de la región central de Chile y cuatro categorías de color. Las nueces de la zona con influencia andina presentaron mayores contenidos de azúcares y ácidos grasos insaturados, asociados por los autores a menores temperaturas mínimas durante llenado. Las mariposas Extra Light presentaron mayores compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y arbutina que las categorías más oscuras.

El trabajo no es evidencia Si. Su función en este capítulo es mostrar que el ambiente de llenado cambia atributos que tienen significado comercial. Por eso un ensayo de AOS que mida sólo kg/ha puede perder parte de la señal: en nogal también deben medirse peso de nuez, peso y porcentaje de mariposa, calibre y color cuando la hipótesis los involucra.

11.2 El déficit hídrico puede cambiar simultáneamente cantidad y composición

Durán Zuazo et al. (2025) mostraron que el déficit no sólo redujo rendimiento; también modificó peso, tamaño, color, minerales y composición de ácidos grasos. Ese resultado obliga a separar “más producción” de “mejor producto”. Una herramienta puede proteger valor sin necesariamente aumentar el tonelaje si conserva una categoría que el mercado reconoce.

12. COSECHA Y POSCOSECHA: EL ÁRBOL PUEDE TERMINAR BIEN Y EL NEGOCIO TERMINAR MAL

El nogal tiene una particularidad económica: parte de la calidad puede deteriorarse después de que la nuez ya terminó su desarrollo. Retrasos de cosecha, permanencia de nueces en el suelo, pelado y secado tardíos afectan color e integridad. Por eso la cadena técnica de este capítulo termina en condición comercial, no en caída del fruto.

La consecuencia para AOS también es un límite: ninguna tecnología fisiológica puede compensar una logística de cosecha o secado mal ejecutada. Si el objetivo de un ensayo es calidad, debe separar claramente la contribución de la planta de los efectos posteriores de manejo.

MESES PARA CONSTRUIR LA NUEZ. HORAS O DÍAS PARA PERDER PARTE DE SU VALOR.

13. AOS, BIODISPONIBILIDAD Y SUFICIENCIA FUNCIONAL

Las plantas incorporan Si principalmente como ácido ortosilícico/monosilícico, H_4SiO_4. La concentración total de Si en el suelo o en una formulación no equivale automáticamente a Si disponible para absorción. Revisiones recientes muestran que fuente, pH, dosis, vía, genotipo, tejido y ambiente modifican acumulación y respuesta (Thakral et al., 2024; Pereira et al., 2024; Ghadirnezhad Shiade et al., 2026).

En este capítulo se nombra la fuente utilizada por cada estudio. Los ensayos directos en J. sigillata son evidencia Si, no ensayos de SiliGreen. La tecnología NewGreen trabaja AOS estabilizado; su validación en nogal debe demostrar respuesta bajo el programa y momento definidos, no apoyarse únicamente en la existencia general de efectos del elemento.

13.1 Cátedra técnica: “el nogal ya tiene silicio”

Encontrar Si en tejido demuestra presencia y acumulación. No demuestra automáticamente suficiencia para raíz, agua, defensa, pared celular o cualquier otra función. En nogal no existe un umbral universal de suficiencia funcional validado para cada tejido, fenología, cultivar, portainjerto, fuente y objetivo.

TENER SILICIO NO SIGNIFICA HABER EXPRESADO TODO EL POTENCIAL FUNCIONAL DEL SILICIO.

La lectura técnica debe integrar seis variables: concentración + tejido + fenología + disponibilidad + función objetivo + respuesta agronómica. Si la concentración foliar no está vinculada a una curva de respuesta para la función que estamos evaluando, no puede usarse por sí sola para cerrar la discusión.

Pregunta	Qué aporta
¿Cuánto Si hay?	Describe presencia; no suficiencia funcional por sí sola.
¿Dónde se midió?	Hoja, raíz, madera y fruto no son equivalentes.
¿Cuándo se midió?	Fenología y ventana de riesgo cambian la interpretación.
¿Qué fuente estuvo disponible?	Fuente, pH y formulación condicionan disponibilidad.
¿Qué función queremos proteger?	Agua, raíz, defensa, llenado o calidad requieren variables distintas.
¿Hubo respuesta medible?	La suficiencia funcional se valida frente a respuesta o ausencia de respuesta.

14. MULTI: LA INTEGRACIÓN

14.1 Multiestructuralidad

En nogal, el riesgo productivo recorre raíz, cuello, hoja, brote, madera, fruto y mariposa. La evidencia chilena de Phytophthora y enfermedades de madera demuestra que perder tejido productivo puede comprometer la temporada actual y también las siguientes.

14.2 Multitransversalidad

La evidencia Si dentro de Juglans muestra respuestas sobre raíz, pared celular, transportadores, ajuste osmótico, antioxidantes, ROS, hormonas y fotosistema. Son vías biológicamente distintas y no deben presentarse como una sola explicación repetida.

14.3 Protección multivía

Productivamente, esas rutas sólo importan si terminan protegiendo un resultado: kg de nuez, kg de mariposa, calibre, color, sanidad o permanencia del activo. Una temporada puede estar limitada por agua y otra por raíz, madera o calidad. El valor de una herramienta transversal está en tener más de una oportunidad de proteger el mismo negocio.

14.4 Protección multimomento

La ventana importa. Primavera define potencial de crecimiento; verano puede tensionar agua y llenado; poda abre heridas con susceptibilidad decreciente en el tiempo; cosecha y secado pueden destruir calidad ya construida. Una aplicación sin timing es media recomendación.

NO SABEMOS QUÉ VÍA SERÁ LA LIMITANTE DE CADA TEMPORADA. LA TRANQUILIDAD ESTÁ EN NO DEPENDER DE UNA SOLA.

15. MATRIZ MAESTRA NOGAL CHILE 3.0

La matriz integra las vías sin darles el mismo peso. Distingue problema demostrado, evidencia directa Si dentro de Juglans, convergencia mecanística y rutas todavía pendientes de validación específica.

Vía / estructura	Ventana crítica	Evidencia disponible	Qué está en riesgo	Nivel para Si	Conexión comercial
Raíz / agua	Primavera-verano	Déficit directo en Chandler; fisiología Si directa en Juglans	crecimiento, peso, calibre, mariposa	DIRECTA EN JUGLANS para mecanismos; falta Chandler	kg y calidad preservados
Sequía + calor / ROS	Verano	Chandler: MDA ×2,55; H2O2 ×2,05; clorofila -37%	membranas, fotosistema, llenado	DIRECTA EN JUGLANS para antioxidantes; falta ensayo productivo	potencial y calidad
Phytophthora raíz/cuello	Condiciones predisponentes	49 huertos Chile; 5 regiones; P. cinnamomi/P. citrophthora patógenas	raíz, vigor, permanencia	CONVERGENTE Si × P. cinnamomi en palto + directa Juglans en raíz	producción y longevidad
Madera / Botryosphaeriaceae	Poda, lluvia, heridas	Chile: 20-76% incidencia; heridas 1-45 días	ramillas, ramas, área productiva	MECANÍSTICA; falta ensayo Si específico	producción futura
Peste negra / Xaj	Brotación-floración-fruto joven	Problema chileno; resistencia Cu documentada	cuaja, frutos jóvenes	CONVERGENTE Si-Xanthomonas en otro cultivo	fruta comercial
Polillas	Crecimiento-precosecha	Problema reconocido; daño directo fruto	nuez comercial	PENDIENTE; no monetizar	descarte
Llenado / mariposa	Expansión-llenado	Déficit cambia peso/tamaño/composición	kg de kernel	VÍA INDIRECTA; validar AOS en Chandler	kg mariposa
Color / categoría	Llenado-precosecha	Chandler Chile: diferencias de color y composición por ambiente	precio/categoría	VÍA INDIRECTA; validar	diferencial de categoría
Cosecha / secado	Madurez-poscosecha	Riesgo logístico conocido	color, condición	NO es función del Si por sí sola	valor final

16. RESULTADOS CUANTIFICADOS SELECCIONADOS

Evidencia	Resultado cuantificado	Lectura Chile 3.0
Trentacoste et al. 2026 · Chandler · 3 temporadas	75% ETc: -25% aprox.; 50% ETc sólo primavera + retorno a 100%: -29% aprox.	El timing temprano puede dejar pérdidas irreversibles aunque el estado hídrico se recupere.
Durán Zuazo et al. 2025 · Chandler	13,9 kg/árbol a 100% vs 12,2 a 75%, 6,4 a 50% y 6,7 a 33%.	Agua modifica rendimiento y atributos de mariposa; cultivar importa.
Drought + heat 2025 · Chandler	MDA ×2,55; H2O2 ×2,05; clorofila -37% bajo estrés combinado.	Existe una vía oxidativa directa en J. regia; no equivale por sí sola a kg.
J. sigillata + Cd + Si · 2025	Cd -9% raíz, -46,1% tallo, -41,6% hoja; SOD +50,64%; POD +118,35%; MDA -12,65%.	Evidencia directa Si dentro de Juglans sobre antioxidantes, transporte, pared y homeostasis.
Guajardo et al. 2017 · Chile	49 huertos; prevalencia promedio 15,7% de pudrición raíz/cuello.	Phytophthora es un problema local real, no extrapolado.
Iqbal et al. 2026 · Chile	7 huertos Chandler; incidencia de muerte regresiva 20-76%.	La pérdida sanitaria puede comprometer madera productiva y horizonte plurianual.
Iqbal et al. 2025 · heridas de poda	Heridas 1 día: D. mutila 52,5 mm; N. parvum 45,2 mm; conidias vs lluvia r=0,81.	Timing sanitario medible: herida fresca + lluvia = riesgo mucho mayor.
Moya-Elizondo et al. 2018 · Xaj Chile	12-14 aplicaciones cúpricas reportadas; 29,8% de 131 cepas históricas por sobre umbral de resistencia in vitro.	La dependencia de una sola vía sanitaria tiene límites; no autoriza reemplazo por Si.
Fuentealba et al. 2017 · Chandler Chile	Extra Light con mayores fenólicos, antioxidantes y arbutina que categorías más oscuras.	Color es fisiología y también categoría comercial.

Los porcentajes no se trasladan directamente a un huerto chileno como respuesta esperable de AOS. La tabla muestra magnitudes observadas en los sistemas estudiados y ayuda a decidir qué variables vale la pena medir en validaciones locales.

17. PREGUNTAS PARA EL ASESOR TÉCNICO

- ¿Cuál es la pérdida principal que se quiere proteger: agua, raíz, madera, sanidad de fruto, llenado, mariposa, color o una estrategia transversal?
- ¿Qué parte de la evidencia es directa en J. regia, qué parte es directa sólo en Juglans y qué parte es convergente desde otro cultivo?
- ¿Qué cultivar, portainjerto y edad del huerto se están evaluando?
- ¿La ventana de aplicación coincide con el momento en que la vía objetivo es vulnerable?

- ¿El ensayo mide variables fisiológicas y también el resultado comercial que importa?
- ¿La temporada realmente expuso al cultivo a déficit, calor, Phytophthora, Xaj u otra condición necesaria para probar la hipótesis?
- ¿“Ya tiene suficiente Si” según qué criterio: concentración histórica o suficiencia funcional demostrada?
- ¿El programa actual contiene herramientas específicas que no deben retirarse porque cubren una función única?
- ¿Qué componente del programa repite un objetivo fisiológico que ya está siendo cubierto por otra vía?
- ¿Qué resultado definido antes del ensayo sería suficiente para cambiar una decisión técnica?

NO TE PEDIMOS QUE CREAS EN EL SILICIO. TE PEDIMOS QUE LO EVALÚES CON EL MISMO RIGOR CON QUE EVALÚAS CUALQUIER OTRA HERRAMIENTA AGRONÓMICA.

18. VALIDACIÓN EN CAMPO: EL ENSAYO DEBE PODER RESPONDER LA PREGUNTA

Para un asesor escéptico, la mejor discusión es un diseño que pueda fallar o confirmar la hipótesis. El mínimo es mismo huerto, cultivar, portainjerto, edad y manejo base; control sin AOS; programa con AOS; variables definidas antes de iniciar; y seguimiento hasta el punto comercial correspondiente.

MISMO HUERTO + MISMO MANEJO BASE + CONTROL + AOS + VARIABLES DEFINIDAS ANTES DEL ENSAYO.

Si la hipótesis es agua, medir potencial hídrico/función y terminar en peso de nuez, calibre y mariposa. Si es Phytophthora, medir incidencia/severidad y desempeño radicular bajo presión real, sin suspender automáticamente el manejo específico. Si es madera, definir ventana de poda, lluvia y heridas. Si es calidad, seguir la nuez hasta clasificación, color y categoría. Un ensayo que termina antes del resultado que se pretende vender sólo responde media pregunta.

19. VÍNCULO CON EL DOSSIER ECONÓMICO NOGAL CHILE 01

El Dossier Económico Nogal Chile 01 ya cuantifica la otra mitad de esta arquitectura: cuánto valor debe protegerse para pagar el programa y cómo separar kg de nuez seca, kg de mariposa, calidad, pérdidas plurianuales y racionalización. Este capítulo identifica qué puede protegerse, por qué vía y con qué nivel de evidencia. El dossier convierte esa protección en margen sin duplicar la misma nuez.

EL CAPÍTULO EXPLICA POR QUÉ PUEDE PROTEGERSE EL RESULTADO. EL DOSSIER ECONÓMICO CUANTIFICA CUÁNTO VALE PROTEGERLO.

La cadena común de ambos documentos es:

KG DE NUEZ → KG SECOS → CALIBRE → % Y PESO DE MARIPOSA → COLOR → SANIDAD / CONDICIÓN → CATEGORÍA → VALOR REAL

El programa de referencia del dossier es SiliGreen 1,5 L/ha/temporada, CL$97.500/ha netos. El dossier demuestra que, dependiendo de la contribución neta real del kg, el punto de equilibrio puede representar una fracción pequeña de la cosecha. Esa matemática no demuestra respuesta agronómica; el capítulo técnico define dónde existe una hipótesis suficientemente sustentada para intentar protegerla.

20. CONCLUSIÓN

Nogal Chile 3.0 parte de una constatación simple: el valor del huerto puede perderse por más de una vía y en más de un momento. El déficit hídrico temprano puede reducir de forma irreversible rendimiento y tamaño aun cuando el árbol recupere después su estado hídrico. Calor y sequía convergen sobre ROS, membranas y fotosistema. Phytophthora compromete raíz y permanencia. Botryosphaeriaceae y Diaporthaceae comprometen madera productiva y dependen fuertemente del momento de infección. Xanthomonas expone fruta joven y el manejo reiterado con cobre enfrenta antecedentes de resistencia. Finalmente, llenado y color deciden cuánto valen los kg que sí llegaron a cosecha.

La evidencia directa de Si en nogal productivo todavía no permite prometer una respuesta universal en Chandler. Pero ya existe una señal mucho más fuerte que una extrapolación genérica: dentro de Juglans, dos trabajos independientes muestran respuestas a Si sobre raíz, pared celular, transportadores, ajuste osmótico, antioxidantes, ROS, hormonas y fotosistema. Esa base, sumada a evidencia convergente específica para P. cinnamomi y Xanthomonas en otros sistemas, permite construir hipótesis de validación serias.

La recomendación técnica, por tanto, no es reemplazar por definición riego, cobre, fosfitos, fungicidas, insecticidas o cualquier herramienta específica. Es preguntar dónde AOS agrega una vía de protección que el programa no está cubriendo, dónde complementa y dónde eventualmente puede permitir racionalizar redundancias después de demostrarlo.

MULTIESTRUCTURALIDAD: DISTINTOS ÓRGANOS Y TEJIDOS.

MULTITRANSVERSALIDAD: DISTINTAS VÍAS FISIOLÓGICAS, ESTRUCTURALES Y DEFENSIVAS.

PROTECCIÓN MULTIVÍA: DISTINTAS OPORTUNIDADES DE EVITAR QUE EL POTENCIAL SE PIERDA.

PROTECCIÓN MULTIMOMENTO: DISTINTAS VENTANAS CRÍTICAS EN LAS QUE UNA PÉRDIDA PUEDE SER EVITADA.

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

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

1. ODEPA (2026). Boletín de fruta, marzo 2026. Superficie frutícola 2025: nogal 41.722 ha. Enlace

2. ODEPA (2026). Región Metropolitana, actualización marzo 2026. Nogal: 14.264,62 ha; país 41.721,77 ha. Enlace

3. Trentacoste, E. R. et al. (2026). Improving water productivity in Walnut (Juglans regia L.): effects of spring regulated deficit irrigation and sustained irrigation rates under semi-arid conditions. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 25, 58. DOI 10.1007/s44447-026-00148-6. Enlace

4. Durán Zuazo, V. H. et al. (2025). Yield and Quality of Walnuts Subjected to Deficit Irrigation in Mountainous Water-Starved Environments. Plants, 14, 1777. DOI 10.3390/plants14121777. Enlace

5. Combined drought and heat stress intensifies antioxidant responses and gene expression in Persian walnut (Juglans regia L.). (2025). BMC Plant Biology. DOI 10.1186/s12870-025-07625-0. Enlace

6. Transcriptomic and metabolomic approaches reveal the physiological and biochemical alleviation mechanisms of silicon on aluminum stress in Juglans sigillata. (2025). Plant Physiology and Biochemistry, 221, 109604. DOI 10.1016/j.plaphy.2025.109604. Enlace

7. Shang, Q. et al. (2025). Integrated physiological, biochemical, transcriptomic, and metabolomic analysis reveals the mechanism of silicon in alleviating cadmium stress in Juglans sigillata. Industrial Crops and Products, 231, 121212. DOI 10.1016/j.indcrop.2025.121212. Enlace

8. Guajardo, J., Saa, S., Camps, R., & Besoain, X. (2017). Outbreak of Crown and Root Rot of Walnut Caused by Phytophthora cinnamomi in Chile. Plant Disease, 101. DOI 10.1094/PDIS-09-16-1242-PDN. Enlace

9. Guajardo, J., Saa, S., Riquelme, N., Browne, G., Youlton, C., Castro, M., & Besoain, X. (2019). Characterization of Oomycete Species Associated With Root and Crown Rot of English Walnut in Chile. Plant Disease, 103, 691-696. DOI 10.1094/PDIS-07-18-1160-RE. Enlace

10. Alvarado, L. et al. (2020). A Comparison of Immediate and Short-Term Defensive Responses to Phytophthora Species Infection in Both Susceptible and Resistant Walnut Rootstocks. Plant Disease, 104, 921-929. DOI 10.1094/PDIS-03-19-0455-RE. Enlace

11. Resistance induction with silicon in Hass avocado plants inoculated with Phytophthora cinnamomi Rands. (2023). Plant Signaling & Behavior. DOI 10.1080/15592324.2023.2178362. Enlace

12. Iqbal, S. et al. (2026). Expanded Fungal Diversity associated with branch and twig dieback of English Walnut in Central Chile. Plant Disease. DOI 10.1094/PDIS-10-25-2089-RE. Enlace

13. Iqbal, S. et al. (2025). Vulnerability of Walnut Pruning Wounds to Fungal Trunk Pathogens and Seasonal Conidial Dynamics of Botryosphaeriaceae in the Maule Region, Chile. Microorganisms, 13, 2407. DOI 10.3390/microorganisms13102407. Enlace

14. Moya-Elizondo, E. et al. (2018). Resistencia al ion cobre de Xanthomonas arboricola pv. juglandis en nocedales de la Región del Biobío. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences. Enlace

15. Hong, D.-K. et al. (2021). Silicon enhancement for endorsement of Xanthomonas albilineans infection in sugarcane. Ecotoxicology and Environmental Safety, 220, 112380. DOI 10.1016/j.ecoenv.2021.112380. Enlace

16. Fuentealba, C. et al. (2017). Colour and in vitro quality attributes of walnuts from different growing conditions correlate with key precursors of primary and secondary metabolism. Food Chemistry, 232, 664-672. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.04.029. Enlace

17. Thakral, V. et al. (2024). Silicon, a quasi-essential element: Availability in soil, fertilizer regime, optimum dosage, and uptake in plants. Plant Physiology and Biochemistry, 208, 108459. DOI 10.1016/j.plaphy.2024.108459. Enlace

18. Pereira, S., Monteiro, A., Moutinho-Pereira, J., & Dinis, L.-T. (2024). Silicon, An Emergent Strategy to Lighten the Effects of (A)Biotic Stresses on Crops: A Review. Journal of Agronomy and Crop Science, 210, e12762. DOI 10.1111/jac.12762. Enlace

19. Ghadirnezhad Shiade, S. R., de Mello Prado, R., Fathi, A., & Carvalho, R. F. (2026). Silicon at the Frontline: Enhancing Plant Multistress Tolerance. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 26, 3089-3111. DOI 10.1007/s42729-026-03052-8. Enlace

20. NewGreen Chile (2026). Dossier Económico Nogal Chile 01 - Chile 3.0. Documento técnico-económico complementario. Enlace

NOTA EDITORIAL

Este capítulo diferencia evidencia directa en Juglans regia, evidencia directa dentro del género Juglans, evidencia convergente en otros frutales o patosistemas y mecanismos todavía pendientes de validación específica. Las magnitudes experimentales citadas describen los sistemas en que fueron medidas; no son una garantía de respuesta en un huerto chileno. El objetivo es construir una base científicamente defendible para diseñar validaciones locales y conectar posteriormente los resultados con el Dossier Económico Nogal Chile 01.