BIBLIOTECA DE SILICIO

CHILE 3.0

CAPÍTULO TÉCNICO

VID VINÍFERA

Agua, estrés estival, defensa inducida, baya y construcción de calidad enológica

Versión definitiva · Octubre 2026

EN VID, EL OBJETIVO NO ES SIMPLEMENTE PRODUCIR MÁS UVA. ES MANTENER UNA PLANTA CAPAZ DE LLEGAR A COSECHA CON UNA BAYA SANA, EQUILIBRADA Y ENOLÓGICAMENTE ÚTIL.

1. Una cadena que termina en el vino

La vid vinífera exige leer el resultado mucho más allá del rendimiento. El Catastro Vitícola 2025 del SAG registra 110.768 ha de variedades viníferas en Chile; Maule concentra 41,9% y O'Higgins 29,9%, mientras el Valle Central reúne 73,2% de la superficie correspondiente a variedades listadas en el Decreto 464 [11]. En ese territorio conviven restricciones hídricas, calor estival, salinidad localizada, presión sanitaria y objetivos enológicos muy diferentes.

RAÍZ Y AGUA → FOTOSÍNTESIS → MADURACIÓN → PIEL Y BAYA → DEFENSA → SANIDAD → COMPOSICIÓN DE LA UVA → MOSTO → VINO.

La relevancia del silicio (Si) en este cultivo se entiende siguiendo esa cadena. En Vitis vinifera ya existe evidencia directa sobre estado hídrico, fotosíntesis, salinidad, permanencia foliar, metabolismo de la baya, oídio, mildiu, rendimiento y composición del vino [1-9]. El punto central no es enumerar beneficios aislados, sino identificar dónde una función productiva está amenazada y cómo la intervención con Si puede proteger el resultado final.

2. Estrés estival: cuando madurar más rápido no significa madurar mejor

El estrés estival combina alta demanda atmosférica, temperatura y disponibilidad limitada de agua. Cuando el estado hídrico se deteriora, disminuyen conductancia estomática y asimilación de CO_2; al mismo tiempo, la baya continúa expuesta a calor y radiación. El riesgo no es sólo producir menos: también puede desacoplarse la acumulación de azúcares respecto de la madurez fenólica, aromática y ácida.

En Touriga Franca cultivada bajo condiciones mediterráneas, aplicaciones foliares de Si en plantas no irrigadas mejoraron la eficiencia fotosintética, la eficiencia de uso del agua y la composición bioquímica de hojas y bayas [1]. El trabajo evaluó al Si precisamente como una herramienta para disminuir la presión del estrés estival y sostener el funcionamiento de la vid con menor dependencia del riego.

DÉFICIT HÍDRICO → MENOR ACTIVIDAD FISIOLÓGICA → MADURACIÓN MENOS EQUILIBRADA → Si → MAYOR CAPACIDAD DE CONSERVAR AGUA, FOTOSÍNTESIS Y FUNCIÓN.

Por eso, en vid no conviene reducir la respuesta a "tolerancia a sequía". Lo que se protege es la maquinaria que construye la baya durante las semanas de mayor exigencia.

3. Fotosíntesis y senescencia: conservar hoja funcional hasta el final

Un ensayo de campo en Cabernet publicado en 2026 mostró que aplicaciones foliares de nano-SiO_2 elevaron más de tres veces la concentración de Si en hojas y mejoraron la asimilación neta de CO_2, la eficiencia del fotosistema II, el índice de desempeño fotosintético y el NDVI. El tratamiento también retrasó la senescencia foliar [2].

> **UNA HOJA QUE SENESCE ANTES DE TIEMPO NO SÓLO DEJA DE SER VERDE: DEJA DE CONTRIBUIR A LA MADURACIÓN Y A LA ACUMULACIÓN DE RESERVAS.**

Mantener follaje funcional significa mantener por más tiempo la fuente de carbono que sostiene baya, madera y reservas para la temporada siguiente. Es una consecuencia fisiológica con expresión productiva directa.

4. Salinidad: agua, iones y señalización

La salinidad combina estrés osmótico con toxicidad iónica y daño oxidativo. En zonas semiáridas, en cuarteles con aguas de mayor conductividad o bajo concentración progresiva de sales, esa presión puede sumarse al déficit hídrico estival.

En cv. Castellana Negra, 90 mM NaCl durante 75 días redujeron fuertemente el crecimiento. La aplicación de Si mitigó la respuesta: aumentó aproximadamente 46% la clorofila total y 49% los carotenoides frente a plantas sometidas sólo a salinidad, redujo la acumulación de Na y moduló ABA, ácido salicílico y ácido jasmónico [3].

> **SALINIDAD → ESTRÉS OSMÓTICO + Na + PÉRDIDA DE PIGMENTOS Y FUNCIÓN → Si → MENOR CARGA TÓXICA + MAYOR ESTABILIDAD FISIOLÓGICA Y HORMONAL.**

En vid, por tanto, la respuesta del Si frente a salinidad no es sólo estructural: existe evidencia directa sobre homeostasis iónica, pigmentos y señalización hormonal.

5. Piel y cutícula: la primera frontera de la baya

La piel de la uva cumple simultáneamente funciones físicas, sanitarias y enológicas. Limita pérdida de agua, soporta radiación y daño mecánico, es el primer tejido que enfrenta numerosos patógenos y, en variedades tintas, concentra gran parte de los antocianos y taninos que definirán color, estructura y extracción durante vinificación.

En Touriga Nacional sometida a estrés estival, formulaciones combinadas de kaolín + Si aumentaron significativamente el grosor de la cutícula durante pinta y cosecha y modificaron la composición de las ceras cuticulares [10]. La respuesta corresponde a la estrategia combinada, pero demuestra la importancia productiva de reforzar el tejido que simultáneamente protege a la baya y contiene componentes enológicos.

MAYOR INTEGRIDAD SUPERFICIAL → MENOR PÉRDIDA DE AGUA + MAYOR RESISTENCIA FÍSICA + MENOR VULNERABILIDAD DEL TEJIDO + PROTECCIÓN DEL POTENCIAL ENOLÓGICO.

6. Metabolismo de la baya: la respuesta depende del cultivar

La aplicación foliar de Si sobre Teroldego, Oseleta, Garganega y Chardonnay produjo cambios medibles en la composición de las bayas, pero la respuesta fue claramente dependiente del genotipo [4].

En Oseleta, los antocianos totales aumentaron aproximadamente desde 0,48 a 1,25 mg/g de peso fresco. En Garganega destacó el aumento de prolina; en otras variedades cambiaron azúcares, ácidos, aminoácidos y diferentes compuestos fenólicos [4].

EL Si NO IMPONE UNA COMPOSICIÓN ÚNICA A TODAS LAS UVAS. MODULA EL METABOLISMO DE UNA PLANTA CUYA RESPUESTA DEPENDE DEL GENOTIPO, DEL AMBIENTE Y DEL ESTADO FISIOLÓGICO.

En viticultura esto es una fortaleza. Cabernet Sauvignon, Carménère, País, Pinot noir, Chardonnay o Sauvignon Blanc no deben responder igual; el objetivo es conservar mejor las funciones que permiten a cada variedad expresar su propio potencial.

7. Oídio: una conexión directa entre Si y enfermedad en vid

El oídio causado por Erysiphe necator constituye una de las evidencias clásicas más claras de la relación entre Si y sanidad en Vitis vinifera. En el trabajo de Bowen et al. (1992), aplicaciones foliares de Si soluble redujeron sustancialmente el número de colonias desarrolladas sobre hojas inoculadas [5].

El análisis microscópico mostró acumulación de Si en torno a los apresorios y en zonas asociadas al intento de penetración del hongo. Allí donde existían depósitos superficiales importantes, las hifas no progresaban normalmente; y donde no había depósitos visibles, se observó redistribución lateral de Si hacia los sitios de penetración [5].

OÍDIO → PENETRACIÓN EPIDÉRMICA → Si → REFUERZO LOCAL DEL TEJIDO + MENOR DESARROLLO DEL PATÓGENO.

Esta evidencia demuestra directamente en vid que el Si puede intervenir en uno de los primeros puntos críticos de la infección: la interacción entre el patógeno y la superficie del tejido. Pero la participación del Si en sanidad no termina en una mayor resistencia estructural.

8. Mildiu: el Si activa la defensa de la propia vid

El mildiu causado por Plasmopara viticola muestra otra dimensión: defensa inducida. En un ensayo de campo con SiO_2 nanoparticulado, el tratamiento aumentó fuertemente la expresión de JERF3, β-1,3-glucanasa, peroxidasa, PR1 y quitinasa y redujo la severidad del mildiu hasta aproximadamente 81,5% en el tratamiento más efectivo [6].

Una investigación publicada en 2026 profundizó la misma interacción. Aplicaciones foliares de SiO_2 nanoparticulado redujeron significativamente la infección bajo condiciones controladas y de campo; los ensayos in vitro no mostraron toxicidad directa relevante contra P. viticola, indicando que la protección estaba siendo mediada por la planta [7].

> **EL SILICIO NO SÓLO REFUERZA EL TEJIDO QUE EL PATÓGENO DEBE PENETRAR; TAMBIÉN POTENCIA LA MAQUINARIA QUE LA VID UTILIZA PARA RECONOCER, CONTENER Y RESPONDER AL ATAQUE.**

Oídio y mildiu permiten visualizar las dos caras complementarias de la defensa asociada al Si: estructura en el punto de penetración y activación de mecanismos bioquímicos y de señalización. No son mecanismos alternativos; son capas de protección que pueden coexistir en la misma planta.

9. Botrytis: cuando el daño sanitario continúa dentro de la bodega

En uva vinífera, Botrytis cinerea no representa sólo una pérdida de rendimiento o un defecto visual del racimo. La infección puede alterar la composición de la baya, modificar el mosto y aumentar el riesgo de oxidación y desviaciones posteriores en el vino.

> **BOTRYTIS → ALTERACIÓN DE LA BAYA → MODIFICACIÓN DEL MOSTO → MAYOR RIESGO DE DETERIORO ENOLÓGICO.**

En Mencía, la aplicación foliar de ácido monosilícico durante la maduración produjo posteriormente vinos con menores concentraciones de ácido glucónico y glicerol, compuestos utilizados como indicadores químicos asociados a uvas botritizadas. Los vinos también presentaron menores niveles de ácido acético, acetaldehído, acetato de etilo y diacetilo [8].

El valor de esta evidencia es que una intervención realizada sobre la vid se expresó después de cosecha en el producto elaborado, con menores marcadores asociados a deterioro sanitario y oxidativo. En viticultura, la enfermedad puede seguir teniendo consecuencias económicas después de la cosecha; el efecto del manejo también puede hacerlo.

10. El estudio emblemático: AOS en la vid, respuesta en el vino

El trabajo de Losada et al. (2022) en Vitis vinifera cv. Mencía constituye una de las demostraciones más completas de transversalidad del Si disponibles para un cultivo. El ácido monosilícico se aplicó

foliarmente durante la maduración; las uvas fueron cosechadas y vinificadas, y el análisis continuó hasta el vino joven [8].

Los vinos provenientes de las plantas tratadas presentaron mayor contenido de fenoles totales, antocianos y taninos, junto con menor expresión de varios compuestos asociados a oxidación. También mostraron modificaciones en alcoholes de cadena media vinculados al perfil aromático [8].

AOS EN LA PLANTA → CAMBIO EN LA UVA → CAMBIO EN EL VINO.

Aquí la forma química tiene una relevancia especial. El ácido mono/ortosilícico, H_4SiO_4, es la forma soluble y absorbible del Si. En vid existe, por tanto, evidencia directa donde esa forma fue aplicada a la planta y la respuesta se siguió hasta la composición del vino.

EN VITIS VINIFERA ESTÁ DEMOSTRADO QUE UNA APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO MONOSILÍCICO DURANTE LA MADURACIÓN PUEDE PRODUCIR CAMBIOS MEDIBLES EN EL VINO RESULTANTE.

11. Productividad y perfil sensorial: el resultado no termina en °Brix

Un ensayo de campo de dos temporadas en Semillon y Cabernet Sauvignon comparó tratamientos con sílice biodinámica y silicato potásico frente a un control. Se observaron diferencias positivas de crecimiento y rendimiento en determinadas temporadas; en Semillon, por ejemplo, el silicato potásico alcanzó 7,88 kg/m de cordón frente a 4,42 kg/m en el control durante una de las temporadas [9].

El estudio también llegó a la evaluación sensorial de bayas y vinos. En Cabernet Sauvignon aparecieron diferencias en color, aroma a fruta oscura, intensidad de sabor y atributos de taninos [9]. Los parámetros básicos de mosto no siempre cambiaron, lo que refuerza una idea importante: en vid, el efecto agronómico puede expresarse en dimensiones que no se detectan simplemente pesando racimos o midiendo °Brix.

PROTEGER CALIDAD NO SIGNIFICA RENUNCIAR A PRODUCTIVIDAD; Y MEDIR PRODUCTIVIDAD NO BASTA PARA DESCRIBIR LA CALIDAD ENOLÓGICA.

12. MULTI: una sola cadena, múltiples vías de protección

Una misma temporada puede combinar restricción hídrica, calor, salinidad, oídio, presión de Botrytis y una maduración acelerada. El Si no reemplaza el riego, el manejo de canopia, el programa fitosanitario ni la decisión de cosecha. Su valor está en fortalecer diferentes funciones de una misma planta antes de que esas presiones se conviertan en pérdida irreversible.

AGUA + FOTOSÍNTESIS + HOMEOSTASIS + ESTRUCTURA + DEFENSA INDUCIDA + SANIDAD + METABOLISMO DE BAYA + VINO.

No son ocho beneficios independientes. Son puntos de una misma cadena productiva. Una planta que conserva mejor agua y fotosíntesis mantiene más capacidad de maduración; una baya con tejido

más íntegro conserva mejor condición; una vid con mayor capacidad defensiva enfrenta de otra forma la presión sanitaria; y todo ello puede proyectarse sobre la materia prima que entra a bodega.

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

13. Chile 3.0: la prioridad cambia según territorio y temporada

El Catastro Vitícola 2025 muestra una fuerte concentración en Maule y O'Higgins, pero también confirma la extensión del cultivo desde Atacama y Coquimbo hasta zonas del sur y austral [11]. La presión dominante cambia; la lógica del Si permanece.

Territorio / condición	Presiones de mayor interés	Ejes Si prioritarios
Atacama / Coquimbo	Agua, radiación, salinidad, alta demanda	Estado hídrico, homeostasis, fotosíntesis
Aconcagua / interiores del Valle Central	Calor, déficit hídrico, maduración acelerada	Agua, fotosíntesis, equilibrio de maduración
O'Higgins / Maule	Estrés estival + presión sanitaria variable	Fisiología + defensa + composición de baya
Secano Interior	Restricción hídrica estructural, baja capacidad de corrección	Eficiencia fisiológica, permanencia foliar, maduración
Sur / zonas más húmedas	Oídio, mildiu, Botrytis, sanidad de racimo	Defensa inducida, estructura, permanencia foliar

La pregunta territorial no es "¿qué producto corresponde a esta zona?", sino "¿qué función está más amenazada en este cuartel y esta temporada?". Esa lectura evita convertir el capítulo en una receta general y mantiene el Si unido al problema productivo real.

14. La variedad importa: Si × genotipo × ambiente

Las seis variedades de mayor superficie en Chile —Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc, País, Chardonnay, Carménère y Merlot— concentran más de 71% de la superficie vinífera nacional [11]. No comparten la misma arquitectura de racimo, metabolismo fenólico, piel, sensibilidad sanitaria ni objetivo enológico.

La evidencia metabolómica demuestra que la respuesta al Si puede ser claramente cultivar-dependiente [4]. Por eso, en viñas el éxito de un programa no debe evaluarse buscando una respuesta universal en antocianos, Brix o rendimiento. Debe evaluarse contra la función y el atributo que limitan a una variedad en un ambiente determinado.

LA RESPUESTA DEL Si EN VID ES UNA INTERACCIÓN ENTRE GENOTIPO, AMBIENTE, ESTADO FISIOLÓGICO Y MOMENTO DE INTERVENCIÓN.

15. AOS y disponibilidad: una conexión directa con Vitis vinifera

El Si absorbible se encuentra principalmente como ácido ortosilícico (H_4SiO_4) en solución. Dentro del programa, SiliGreen® aporta AOS estabilizado y biodisponible. La importancia de esta sección no es convertir el capítulo en una comparación extensa de fuentes, sino recordar que la respuesta biológica requiere Si disponible para la planta.

En vid contamos, además, con una ventaja científica particular: el estudio de Mencía trabajó directamente con ácido monosilícico aplicado foliarmente durante maduración y siguió la respuesta hasta el vino [8].

FORMA BIODISPONIBLE → PLANTA → BAYA → VINO.

La evidencia obtenida con otras fuentes sigue siendo valiosa para demostrar mecanismos del elemento —estructura, defensa inducida, fotosíntesis, sanidad—. Pero en esta especie existe también una demostración directa con AOS sobre el producto final.

16. Ventanas fisiológicas de interés

El capítulo técnico no reemplaza al protocolo de aplicación. Sin embargo, la evidencia permite identificar momentos fisiológicos donde disponer de Si tiene especial sentido.

- Construcción de canopia y crecimiento activo: sostener desarrollo, fotosíntesis y preparación frente al estrés estival.
- Floración, cuaja y crecimiento temprano de baya: proteger función durante la definición del potencial productivo y la formación de tejidos.
- Pinta y maduración: ventana especialmente relevante por la evidencia directa con AOS en Mencía y por el vínculo entre fisiología, composición de baya y vino.
- Períodos de presión sanitaria o estrés intenso: la lógica de priming favorece que la planta disponga de capacidad defensiva antes de que el daño sea irreversible.

EL VALOR DEL PRIMING ESTÁ EN PREPARAR LA RESPUESTA ANTES DE QUE EL DAÑO SEA IRREVERSIBLE.

17. Mapa final de evidencia: problema → Si → consecuencia

Problema	Función comprometida	Respuesta asociada al Si	Evidencia
Déficit hídrico	Agua, estomas, fotosíntesis	Mayor eficiencia fisiológica y uso del agua	Directa en V. vinifera
Estrés estival	Fotosíntesis, maduración	Conservación de función y calidad bioquímica	Directa en vid
Salinidad	Na, pigmentos, hormonas	Menor acumulación de Na y mejor estabilidad fisiológica	Directa en vid
Senescencia	Superficie foliar funcional	Mayor fotosíntesis y permanencia foliar	Directa, campo

Problema	Función comprometida	Respuesta asociada al Si	Evidencia
Oídio	Penetración epidérmica	Depósito local de Si y menor desarrollo de colonias	Directa en vid
Mildiu	Inmunidad vegetal	PR, quitinasa, β-1,3-glucanasa, POD y señalización	Directa en vid
Botrytis / podredumbre	Sanidad de baya y composición	Menores marcadores asociados a uva botritizada en vino	Directa sobre producto final
Piel / cutícula	Integridad de baya	Mayor grosor cuticular en estrategia kaolín + Si	Directa combinada
Metabolismo de baya	Fenoles, aminoácidos, azúcares, ácidos	Modificación dependiente del cultivar	Directa
Rendimiento	Racimos y bayas	Respuestas positivas en determinados años y cultivares	Directa de campo
Vino	Fenoles, oxidación, aroma	Cambios medidos tras tratar la vid	Directa con AOS

La fortaleza del capítulo no está en que todos los estudios utilicen la misma formulación ni en que todas las variedades respondan de la misma manera. Está en la convergencia de evidencia que conecta al Si con funciones determinantes de la productividad, la sanidad y la calidad enológica de Vitis vinifera.

18. Preguntas para el asesor técnico

- ¿Dónde se está perdiendo valor en este cuartel: agua, fotosíntesis, sanidad, piel, maduración o composición?
- ¿La planta pierde actividad fotosintética antes de alcanzar la madurez buscada?
- ¿Existe salinidad o acumulación de Na en suelo, agua o zona radical?
- ¿Se observa desacople entre acumulación de azúcares y madurez fenólica o ácida?
- ¿Cuál es la presión histórica y actual de oídio, mildiu y Botrytis?
- ¿La condición de piel y cutícula está favoreciendo deshidratación o vulnerabilidad del racimo?
- ¿Qué variedad, clon y objetivo enológico se están manejando?
- ¿La evaluación del programa termina en kg/ha o continúa hasta mosto y vino?
- ¿Qué ocurre con fenoles, antocianos, taninos, oxidación y condición sanitaria entre temporadas de distinto estrés?
- ¿El programa actual sólo reacciona después del daño o también fortalece la capacidad transversal de la planta para atravesar la temporada?

19. Conclusión

La vid es uno de los cultivos donde la transversalidad del Si puede observarse con mayor claridad. La evidencia disponible conecta al elemento con estado hídrico, salinidad, fotosíntesis, permanencia foliar, defensa frente a patógenos, estructura y metabolismo de la baya, rendimiento y composición del vino.

Frente al estrés abiótico, el Si ayuda a conservar función. Frente al estrés biótico, combina resistencia estructural con defensa inducida. Sobre la baya, puede modificar estructura y metabolismo con respuestas dependientes de cultivar y ambiente.

Y CON AOS ESTÁ DEMOSTRADO QUE LA RESPUESTA PUEDE LLEGAR DESDE LA PLANTA HASTA EL VINO.

En Mencía, la aplicación foliar de ácido monosilícico durante la maduración produjo posteriormente vinos con mayor contenido de fenoles, antocianos y taninos, menor oxidación y menores marcadores asociados a uva botritizada [8].

PROTEGER LA FISIOLOGÍA DE LA VID PARA PROTEGER LA CALIDAD QUE FINALMENTE LLEGA A LA BOTELLA.

Bibliografía

[1] Dinis, L.-T., Mota, N., Martins, S., Ribeiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. & Pereira, S. (2024). Foliar Silicon Application in the Era of Climate Change as a Part of Strategy to Reduce Water Requirements in Mediterranean Viticulture. Horticulturae 10(11):1224. DOI: 10.3390/horticulturae10111224.

[2] Orzechowska, A. et al. (2026). Foliar application of silica nanoparticles enhances the growth of Vitis vinifera L. (var. Cabernet) under field conditions. Industrial Crops and Products 242:123016. DOI: 10.1016/j.indcrop.2026.123016.

[3] Urbano-Gálvez, A., López-Climent, M.F., Gómez-Cadenas, A. et al. (2025). Effectiveness of exogenous silicon and proline on mediating grapevine 'Castellana Negra' responses to salt stress. Scientific Reports 15:32751. DOI: 10.1038/s41598-025-17312-7.

[4] Sut, S., Malagoli, M. & Dall'Acqua, S. (2022). Foliar Application of Silicon in Vitis vinifera: Targeted Metabolomics Analysis as a Tool to Investigate the Chemical Variations in Berries of Four Grapevine Cultivars. Plants 11(21):2998. DOI: 10.3390/plants11212998.

[5] Bowen, P., Menzies, J., Ehret, D., Samuels, L. & Glass, A.D.M. (1992). Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science 117(6):906–912. DOI: 10.21273/JASHS.117.6.906.

[6] Rashad, Y.M., El-Sharkawy, H.H.A., Belal, B.E.A., Abdel Razik, E.S. & Galilah, D.A. (2021). Silica Nanoparticles as a Probable Anti-Oomycete Compound Against Downy Mildew, and Yield and Quality Enhancer in Grapevines: Field Evaluation, Molecular, Physiological, Ultrastructural, and Toxicity Investigations. Frontiers in Plant Science 12:763365. DOI: 10.3389/fpls.2021.763365.

[7] Alfonso, E. et al. (2026). Silica nanoparticles enhance resistance of Vitis vinifera to downy mildew. BMC Plant Biology 26:906. DOI: 10.1186/s12870-026-08718-0.

[8] Losada, M.M., Hernández-Apaolaza, L., Morata, A. & Revilla, E. (2022). Impact of the application of monosilicic acid to grapevine (Vitis vinifera L.) on the chemical composition of young red Mencía wines. Food Chemistry 378:132140. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132140.

[9] Collins, C., Bloomfield, S., Hansen, L. & Gilliham, M. (2024). Can silica application enhance vine performance and quality? OENO One 58(4). DOI: 10.20870/oeno-one.2024.58.4.8192.

[10] Monteiro, A. et al. (2026). Strengthening grapevine berry physiology and composition through kaolin–silicon foliar applications under summer stress in mediterranean vineyard. Frontiers in Plant Science 17:1906889. DOI: 10.3389/fpls.2026.1906889.

[11] Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (2026). Catastro Vitícola Año 2025. Informe Ejecutivo. Subdepartamento de Viñas, Vinos y Bebidas Alcohólicas, Chile.