BIBLIOTECA DE SILICE

DOSSIER ECONÓMICO CT-NG-DE-02 · VERSIÓN 2.0

ÁCIDO ORTOSILÍCICO EN TRIGO

ARGENTINA

Protección multivía del margen

Cuánto puede producir, cuánto puede ayudar a conservar y cuánto del programa existente puede racionalizarse

Rendimiento · secano · calidad · vuelco · sanidad · racionalización · riesgo

Referencia económica: Cámara Arbitral de Cereales de Rosario · 23/09/2026

EL AOS NO TIENE QUE PAGARSE HACIENDO UNA SOLA COSA. SU VALOR ECONÓMICO ESTÁ EN TENER VARIAS OPORTUNIDADES DE PROTEGER EL MARGEN CON LA MISMA INVERSIÓN.

Equipo Técnico I+D · NewGreen · Septiembre 2026

¿Qué es el AOS?

El ácido ortosilícico (AOS, H_4SiO_4) es la forma de silicio directamente absorbida por las plantas. Otras fuentes deben primero transformarse en AOS y, durante ese proceso, una parte importante del silicio aplicado puede quedar retenida, precipitada o no disponible en el medio (Ma & Yamaji, 2006; Thakral et al., 2024).

MUCHO SILICIO APLICADO NO SIGNIFICA MUCHO SILICIO ABSORBIBLE.

El AOS entrega directamente la forma que la planta puede incorporar. Por eso, al comparar tecnologías, no basta con mirar cuánto silicio total contienen: importa cuánto puede llegar efectivamente a una forma disponible en el momento fisiológico en que el cultivo la necesita.

Una forma simple de explicarlo: aplicar grandes cantidades de silicio total cuando sólo una fracción llegará finalmente a la forma absorbible puede terminar siendo, económicamente, como disparar un cañón a una flor. La potencia aplicada puede ser enorme; la eficiencia con que llega al objetivo es otra cuestión.

Nota institucional: en esta colección, el ácido ortosilícico (AOS) corresponde a la forma de silicio que NewGreen formula y entrega comercialmente a través de SiliGreen®.

Resumen ejecutivo

El trigo es un cultivo donde el margen puede escaparse por varias rutas durante una misma campaña: déficit hídrico, pérdida de macollos o granos, menor peso de grano, vuelco, baja proteína, plagas, Fusarium, heladas y aplicaciones de rescate. Evaluar AOS sólo preguntando cuánto rendimiento adicional entrega deja fuera una parte importante de su valor potencial.

La literatura moderna sobre silicio está avanzando desde el análisis de estreses aislados hacia una visión integrada y multiestrés. Revisiones publicadas en 2026 describen respuestas

coordinadas sobre raíces e hidráulica, fotosíntesis, homeostasis osmótica e iónica, nutrición, antioxidantes, señalización y defensa. Esa convergencia es la base fisiológica de la multitransversalidad: múltiples procesos distintos pueden terminar protegiendo el mismo resultado productivo (Ghadirnezhad Shiade et al., 2026; Plant Stress, 2026).

MULTITRANSVERSALIDAD NO ES SUMAR BENEFICIOS DOS VECES. ES TENER MAS DE UNA VIA PARA EVITAR QUE EL MISMO MARGEN SE PIERDA.

En trigo, esta lógica tiene además evidencia específica de campo: ácido ortosilícico/ácido silícico ha mostrado respuestas directas de rendimiento en Brasil, Pakistán y Polonia; otras fuentes de Si aportan evidencia convergente sobre sequía, vuelco, pulgones, Fusarium, heladas y composición del grano.

1. Precio actual y punto de partida económico

La Cámara Arbitral de Cereales de Rosario informó para el mercado del 23 de septiembre de 2026 un precio pizarra de trigo de AR$351.100/t, con conversión informativa de US$232,98/t al tipo de cambio comprador BNA utilizado por la propia Cámara.

Trigo producido o preservado	Valor aproximado
100 kg/ha	US$23,3
250 kg/ha	US$58,2
500 kg/ha	US$116,5
750 kg/ha	US$174,7
1.000 kg/ha	US$233,0

La campaña argentina 2025/26 alcanzó 27,9 Mt y un rendimiento medio nacional de 41,3 qq/ha. Ese rendimiento se utiliza aquí sólo como escala común para comparar porcentajes, no como supuesto para todos los lotes.

2. ¿Cuántos kilos necesita el programa para pagarse?

Costo incremental	Trigo necesario	% sobre 4.130 kg/ha
US$50/ha	215 kg/ha	5,2%
US$75/ha	322 kg/ha	7,8%
US$100/ha	429 kg/ha	10,4%
US$125/ha	537 kg/ha	13,0%
US$150/ha	644 kg/ha	15,6%

UN COSTO INCREMENTAL DE US$100/HA NECESITA APROXIMADAMENTE 429 KG/HA PARA PAGARSE EXCLUSIVAMENTE CON RENDIMIENTO.

Ese número es exigente a propósito. Todavía supone que todo el programa es costo nuevo y que calidad, costos racionalizados, pasadas, vuelco, sanidad y rendimiento preservado valen cero. El resto del dossier muestra por qué esa hipótesis puede ser demasiado estrecha.

3. Evidencia directa con ácido ortosilícico / ácido silícico

Brasil - UNESP. Soratto et al. (2012) realizaron un ensayo de campo con 14 repeticiones en Botucatu. Una formulación foliar estabilizada diseñada para entregar ácido ortosilícico aumentó el contenido de Si y K foliar, la materia seca, el número de espigas por metro cuadrado y el rendimiento de grano en 26,9% frente al control. El ensayo fue irrigado: demuestra respuesta productiva directa del AOS, no mitigación de sequía.

Pakistán - Faisalabad. Khalid et al. (2022) compararon ácido silícico, silicato de potasio y silicato de sodio bajo riego normal y déficit hídrico. El ácido silícico fue la fuente más eficaz del estudio; bajo restricción aumentó aproximadamente 12% el área foliar, 23% la biomasa y 11-12% la masa de grano frente al tratamiento estresado sin Si.

Trasladado sólo como escala económica al rendimiento nacional de 4,13 t/ha, 11,5% equivale a aproximadamente 475 kg/ha, con un valor bruto cercano a US$111/ha al precio actual. No es una promesa para Argentina: muestra que la magnitud observada se ubica por encima del umbral de 429 kg/ha.

Polonia - dos campañas. Kowalska et al. (2021) evaluaron una formulación líquida descrita como solución de ácido monosilícico. El control produjo 3,88 t/ha; la aplicación foliar alcanzó 4,84 t/ha (+24,7%) y la combinación suelo + follaje 4,97 t/ha (+28,1%).

Tratamiento Polonia	Rendimiento	Incremento	Valor del incremento a US$232,98/t
Control	3,88 t/ha	-	-
AOS líquido · suelo	4,49 t/ha	+0,61 t/ha	≈ US$142/ha
AOS líquido · foliar	4,84 t/ha	+0,96 t/ha	≈ US$224/ha
AOS líquido · suelo + foliar	4,97 t/ha	+1,09 t/ha	≈ US$254/ha

EL AOS TIENE EVIDENCIA PROPIA EN TRIGO: NO NECESITA SOSTENERSE UNICAMENTE EN RESULTADOS OBTENIDOS CON SILICATOS.

4. Sequía: producir más y, sobre todo, perder menos

Johnson et al. (2022), en un ensayo de campo en Australia con refugios de exclusión de lluvia, redujeron la precipitación al 50% del ambiente. La sequía disminuyó 18% la producción de grano; la suplementación con Si restauró el rendimiento del trigo estresado a niveles comparables con el tratamiento de precipitación ambiente y aumentó 32-74% la eficiencia instantánea de uso del agua.

Saleh & Soliemanzadeh (2026) realizaron dos campañas de campo con 100% y 60% del requerimiento hídrico. Bajo la restricción, la estrategia de mejor respuesta aumentó el rendimiento de grano 16% en la primera campaña y 24% en la segunda, acompañada por cambios en absorción de nutrientes, ajuste osmótico y defensa antioxidante.

Ning et al. (2023) mostró además que el momento del déficit modifica el retorno: el Si foliar elevó el rendimiento 5,71% cuando el estrés ocurrió en antesis y 8,9% durante llenado, mientras que la respuesta en encañado fue menor y no significativa.

EL SILICIO NO ELIMINA LA FALTA DE AGUA. PUEDE REDUCIR CUANTO RENDIMIENTO LE CUESTA ESA FALTA DE AGUA AL CULTIVO.

5. Multitransversalidad: de la raíz a la espiga

La investigación reciente ayuda a ordenar por qué una misma intervención puede devolver valor por rutas distintas. Ashfaq et al. (2024) mostró mayor arquitectura radical y mejor fisiología de canopia bajo sequía. La revisión de Ghadirnezhad Shiade et al. (2026) integra raíces e hidráulica, agua, fotosíntesis, balance osmótico e iónico, nutrientes, regulación hormonal y expresión génica bajo estreses individuales y combinados.

Otra revisión de Plant Stress de 2026 plantea explícitamente que la respuesta al Si combina fortificación estructural con reprogramación metabólica: transportadores, redes génicas, fotosíntesis, homeostasis iónica y defensa antioxidante. Esta visión moderna explica por qué el efecto final no debe interpretarse como una lista de beneficios independientes, sino como una red de procesos que convergen sobre supervivencia funcional, llenado y cosecha.

Nivel	Ejemplos de respuesta	Consecuencia económica posible
Raíz	Mayor exploración, hidráulica y absorción	Más acceso al agua/nutrientes que ya están en el perfil.
Canopia	Estado hídrico, clorofila, fotosíntesis	Más asimilados disponibles para espigas y llenado.
Redox	Antioxidantes, membranas, ROS	Menor pérdida funcional durante estrés.
Estructura	Lignificación y resistencia mecánica	Menor vulnerabilidad al vuelco.
Defensa	Fenoles, enzimas, respuesta a plagas/patógenos	Menor daño y mejor complementariedad sanitaria.
Calidad	Composición y estabilidad del grano	Posible protección del valor comercial.

MULTIPLES MECANISMOS PUEDEN PROTEGER LOS MISMOS KILOS. LOS MECANISMOS SE EXPLICAN TODOS; LOS KILOS SE CONTABILIZAN UNA SOLA VEZ.

6. Calidad: en trigo una tonelada no siempre vale lo mismo

La campaña 2025/26 mostró con claridad esta fuga de margen. En Córdoba, el relevamiento final informó una proteína promedio de 9,1%; 83,8% de las muestras quedaron por debajo de 11% y 39,9% por debajo de 9%. También hubo muestras fuera de estándar por panza blanca. Un año de alto rendimiento puede, por lo tanto, terminar con descuentos comerciales relevantes.

La Norma XX argentina utiliza 11% de proteína como punto de referencia y aplica bonificaciones o rebajas según proteína y grado. La evidencia de Christian et al. (2026) muestra que la respuesta del contenido proteico al Si es dependiente de genotipo y formulación; bajo sequía, una formulación granular aumentó proteína en 14 de 20 genotipos.

No corresponde prometer que AOS aumentará proteína. Sí corresponde medir proteína, peso hectolítrico y grado junto con rendimiento, porque el valor comercial del trigo depende de los cuatro.

7. Vuelco: una fuga que empieza en el tallo y termina en la cosecha

Berry & Spink (2012) muestran que el vuelco puede generar pérdidas importantes de rendimiento según momento e intensidad. Yang et al. (2024), en dos años de ensayo, observaron que tratamientos con nano-Si incrementaron la resistencia al quiebre del segundo entrenudo basal, el índice de resistencia al vuelco y la acumulación de lignina.

Chang et al. (2023) también documentaron mayor diámetro, pared, lignificación y resistencia mecánica del tallo con Si bajo baja radiación.

Rendimiento que logra preservarse	Kg/ha sobre 4,13 t/ha	Valor actual
5%	207 kg/ha	≈ US$48/ha
10%	413 kg/ha	≈ US$96/ha
20%	826 kg/ha	≈ US$192/ha

La tabla no atribuye automáticamente esos porcentajes al AOS. Muestra cuánto vale cerrar una fuga estructural cuando el lote tiene riesgo real de vuelco.

8. Sanidad: valor complementario, no sustitución automática

De Oliveira et al. (2023) realizaron tres experimentos de campo y mostraron que las enmiendas con Si redujeron las poblaciones del pulgón Sitobion avenae y aumentaron linealmente el rendimiento, tanto en cultivares susceptibles como resistentes.

Pazdiora et al. (2023) realizaron un ensayo de campo de tres años frente a Fusarium head blight. El Si redujo severidad y porcentaje de granos dañados. La mejor protección apareció al integrar Si, resistencia genética y fungicida. El mismo grupo había observado que un manejo con Si + una aplicación de fungicida podía alcanzar control de enfermedad y rendimiento comparables a plantas sin Si con dos aplicaciones.

EL AOS NO NECESITA REEMPLAZAR AL FUNGICIDA O AL INSECTICIDA PARA TENER VALOR. PUEDE PROTEGER MARGEN MIENTRAS LA HERRAMIENTA ESPECIFICA HACE SU TRABAJO.

Si el monitoreo y la experiencia local permiten luego racionalizar una intervención, aparece una segunda vía de retorno. Esa reducción nunca se presupone antes de que realmente ocurra.

9. Heladas y estrés combinado

Liang et al. (2008) observaron en trigo invernal susceptible una mayor resistencia al congelamiento a -5 °C con Si, asociada a mayor estabilidad de membranas y respuesta antioxidante. La evidencia no convierte al Si en un 'antiheladas' ni reemplaza fecha de siembra o genética; demuestra que el valor fisiológico no se limita a sequía.

La revisión multiestrés de 2026 es especialmente pertinente para trigo porque los estreses de campo no siempre llegan solos. Sequía, frío, nutrición limitada y presión biótica pueden superponerse. Bajo estrés combinado, la literatura describe una respuesta más amplia del Si que bajo un único estrés: antioxidantes, membranas, agua, fotosistemas, nutrientes y regulación hormonal actúan de forma coordinada.

10. Limpiar el programa: cuánto del costo es realmente nuevo

El costo económico correcto no es siempre el precio completo del programa AOS. Si el productor ya compra bioestimulantes generales con objetivos de antiestrés, raíces o recuperación, debemos revisar cuánto se superpone y cuánto aporta una vía específica que justifica mantenerlo.

Megafol®. Syngenta Argentina lo posiciona como bioestimulante antiestrés/activador del crecimiento y recomienda en trigo 1-3 L/ha. La referencia pública utilizada informa AR$36.074/L sin impuestos nacionales: aproximadamente US$23,9/L con el mismo tipo de cambio de la Cámara. Un escenario medio de 2 L/ha representa cerca de US$47,9/ha.

Razormin®. Atlántica Agrícola recomienda 0,5-1,0 L/ha foliar en cultivos extensivos, especialmente para activación y recuperación tras estrés. La referencia pública argentina consultada informa AR$86.355/L sin impuestos nacionales: aproximadamente US$28,7-57,3/ha según dosis.

Basfoliar® Kelp. COMPO Expert recomienda en trigo 0,5-1,0 L/ha desde macollaje hasta hoja bandera expandida. La referencia pública consultada informa AR$29.592/L sin impuestos nacionales: aproximadamente US$9,8-19,6/ha según dosis.

Herramienta	Programa de referencia	Costo neto aprox.	Lectura
Megafol	1-3 L/ha	US$23,9-71,8/ha	Alta superposición potencial si se usa como antiestrés general.
Razormin	0,5-1,0 L/ha	US$28,7-57,3/ha	Superposición importante; conserva nutrientes/aminoácidos y vía propia.
Basfoliar Kelp	0,5-1,0 L/ha	US$9,8-19,6/ha	Superposición en raíz/estrés; revisar objetivo real del lote.

Ejemplo: si un programa AOS de US$100/ha permite retirar realmente un programa equivalente a 2 L/ha de Megafol (≈US$47.9/ha), el costo incremental baja a ≈US$52.1/ha y el punto de equilibrio cae desde 429 a aproximadamente 224 kg/ha.

ANTES DE PEDIRLE 429 KG AL CULTIVO, HAY QUE SABER CUANTO DEL COSTO ES REALMENTE NUEVO.

11. Pasadas: costo real sólo cuando la operación es realmente nueva

Si SiliGreen® puede incorporarse de forma compatible a una aplicación que ya estaba planificada, el costo incremental de esa pasada puede ser prácticamente nulo. Si exige una entrada exclusiva, producto, maquinaria, combustible, logística y oportunidad deben sumarse al programa.

La regla económica es simple: una pasada sólo se contabiliza como ahorro si realmente desaparece. Del mismo modo, no se fuerza una mezcla incompatible o un momento agronómicamente incorrecto sólo para ahorrar una aplicación.

12. Cerca del rinde de indiferencia, pocos quintales cambian el negocio

El presupuesto de INTA San Pedro para trigo 2025/26 muestra el tamaño de esa sensibilidad. En campo arrendado, el margen bruto estimado fue -US$225/ha a 30 qq/ha, -US$32/ha a 40 qq/ha y

+US$161/ha a 50 qq/ha. El rinde de indiferencia calculado fue 43,1 qq/ha. En campo propio, el rinde de indiferencia fue 34,3 qq/ha.

Rendimiento	Margen campo propio	Margen campo arrendado
30 qq/ha	-US$54/ha	-US$225/ha
40 qq/ha	+US$139/ha	-US$32/ha
50 qq/ha	+US$332/ha	+US$161/ha

CERCA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO, PROTEGER 3 O 4 QUINTALES PUEDE CAMBIAR EL SIGNO DEL MARGEN.

13. Un kilo preservado vale lo mismo que un kilo adicional

A US$232,98/t, 400 kg/ha de trigo valen aproximadamente US$93/ha. Da lo mismo si esos 400 kg aparecen como incremento sobre un testigo o como una pérdida que el cultivo logró evitar frente a sequía, vuelco o sanidad.

La diferencia está en cómo se construyó el resultado, no en el valor del grano al venderlo.

LA PREGUNTA NO ES SOLO CUANTO MAS PRODUJO. TAMBIEN ES CUANTO POTENCIAL LOGRO NO PERDER.

14. Retorno cuantificable y valor de protección

Retorno cuantificable

- kg adicionales o preservados realmente medidos;
- bonificaciones o descuentos de calidad realmente evitados;
- bioestimulantes realmente racionalizados;
- pasadas realmente eliminadas;
- rescates que efectivamente dejaron de realizarse.

Valor de protección

- mayor capacidad de sostener agua y fotosíntesis bajo déficit;
- menor vulnerabilidad estructural al vuelco;
- complementariedad con resistencia genética y fitosanitarios;
- mayor resiliencia frente a estrés combinado;
- más oportunidades de conservar potencial antes de que la pérdida ocurra.

QUE UN BENEFICIO NO TENGA UNA MAGNITUD ECONOMICA FIJA ANTES DE LA CAMPANA NO SIGNIFICA QUE SU VALOR SEA CERO.

15. Efecto anticíclico

La campaña argentina 2022/23 mostró la lógica con crudeza: sequía y heladas redujeron fuertemente la producción nacional de trigo y las cotizaciones locales llegaron a niveles cercanos

a US$350/t en un contexto de oferta escasa. No significa que toda sequía suba el precio: mercado mundial, stocks, política comercial y ventas anticipadas también mandan.

El principio económico sí es válido: cuando un shock amplio reduce oferta, los kilos que un productor logra preservar pueden adquirir más valor precisamente en el año en que más difícil fue producirlos.

EN UNA CAMPANA MALA, PERDER MENOS PUEDE SER MAS IMPORTANTE QUE GANAR MAS EN UNA CAMPANA PERFECTA.

16. La ecuación económica completa, sin doble contabilización

RETORNO NETO = VALOR DE KG ADICIONALES O PRESERVADOS + CALIDAD REALMENTE PROTEGIDA + COSTOS RACIONALIZADOS + PASADAS EVITADAS + RESCATES REALMENTE EVITADOS - COSTO TOTAL DEL PROGRAMA AOS.

La multitransversalidad aumenta la cantidad de rutas por las que el programa puede devolver valor. No autoriza a sumar dos veces el mismo resultado. Si raíces, fotosíntesis y antioxidantes terminan preservando conjuntamente 400 kg/ha, se valorizan 400 kg/ha una sola vez.

17. Escenarios económicos

Escenario	Costo AOS	Costo racionalizado	Costo incremental	Trigo para pagarse
1. Completamente aditivo	US$100	US$0	US$100	≈429 kg/ha
2. Racionalización moderada	US$100	US$25	US$75	≈322 kg/ha
3. Racionalización fuerte	US$100	US$50	US$50	≈215 kg/ha
4. Racionalización alta	US$100	US$75	US$25	≈107 kg/ha

Escenario multivía: costo incremental US$70/ha; 200 kg/ha preservados (≈US$46,6); US$15/ha de bioestimulación racionalizada adicional y US$10/ha de una pasada realmente evitada. Valor generado/protegido = US$71,6/ha. Ninguna vía pagó sola; juntas, sí.

ESA ES LA MULTITRANSVERSALIDAD ECONOMICA: VARIAS OPORTUNIDADES DE PROTEGER EL MISMO MARGEN, SIN INVENTAR NI DUPLICAR BENEFICIOS.

18. Respuesta al productor

“Hoy el trigo vale alrededor de US$233 por tonelada. Si el programa representa US$100 realmente nuevos por hectárea, necesita aproximadamente 429 kilos para pagarse sólo con grano. Pero antes de pedirle esos 429 kilos al cultivo, revisemos cuánto de tu programa actual está duplicando funciones. Después miremos dónde pierde margen tu trigo: agua, calidad, vuelco, sanidad o rescates. Ya existen ensayos de campo con ácido ortosilícico y con otras fuentes de Si que muestran respuestas productivas y fisiológicas relevantes. La decisión correcta no es apostar todo a un porcentaje fijo: es saber cuántas vías tiene la misma inversión para producir o proteger valor.”

Conclusión

El dossier anterior ya mostraba que el AOS podía pagarse por más de una vía. Esta versión lleva esa idea a su consecuencia completa: la multitransversalidad no es un argumento comercial añadido al final; es la arquitectura que conecta la fisiología del trigo con el margen.

El respaldo es directo y convergente. Ácido ortosilícico/ácido silícico ha mostrado respuestas de campo en Brasil, Pakistán y Polonia. Otras estrategias de Si han protegido rendimiento bajo restricción hídrica en Australia, China, Irán y Sudáfrica. La evidencia moderna agrega raíces, hidráulica, fotosíntesis, antioxidantes, estructura, defensa y multiestrés. En trigo, además, existen rutas económicas concretas por calidad, vuelco, pulgones, Fusarium, heladas y costos de rescate.

No todas se expresarán en una misma campaña. Precisamente ésa es la fortaleza de una herramienta transversal: no depende de una sola oportunidad para proteger el resultado.

EL AOS NO TIENE UNA SOLA OPORTUNIDAD DE PAGARSE EN TRIGO. PUEDE SUMAR GRANO, PERO TAMBIEN PUEDE AYUDAR A QUE EL CULTIVO PIERDA MENOS CUANDO EL AGUA, EL TALLO, LA CALIDAD O LA SANIDAD FALLAN.

Bibliografía

La bibliografía se agrupa por función dentro del dossier. Se priorizan fuentes científicas, institucionales y documentación técnica oficial. Los precios comerciales se utilizan únicamente como referencia pública para dimensionar racionalización y deben reemplazarse por la cotización real del productor al momento de decidir.

Química, absorción y marco transversal del silicio

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11(8), 392-397. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007

Thakral, V., Raturi, G., Sudhakaran, S., Mandlik, R., Sharma, Y., Shivaraj, S. M., Tripathi, D. K., Sonah, H., & Deshmukh, R. (2024). Silicon, a quasi-essential element: Availability in soil, fertilizer regime, optimum dosage, and uptake in plants. Plant Physiology and Biochemistry, 208, 108459. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108459

Frew, A., Weston, L. A., Reynolds, O. L., & Gurr, G. M. (2018). The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. Annals of Botany, 121(7), 1265-1273. https://doi.org/10.1093/aob/mcy009

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. https://doi.org/10.1007/s42729-026-03052-8

Silicon-Mediated Stress Physiology: Integrating Structural Fortification with Metabolic Reprogramming for Resilient Agriculture. (2026). Plant Stress, 22, 101489. https://doi.org/10.1016/j.stress.2026.101489

Argentina: secano, disponibilidad y calidad

Bono, A. A., Quiroga, A., Álvarez, R., et al. (2017). Uso de agua por cultivos en la Región Semiárida Pampeana. Ciencia del Suelo, 35(2), 273-283.

Frayssinet, C., Osterrieth, L. M., Borrelli, L. N., Fernández Honaine, M., Ciarlo, E. A., & Heiland, P. (2019). Effect of silicate fertilizers on wheat and soil properties in Southeastern Buenos Aires province, Argentina. Soil & Tillage Research, 195, 104412. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104412

INTA. (2024). Con riego, mejoran los rendimientos de los cultivos hasta un 115 %. Resultados del módulo de riego de INTA Manfredi.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. (2026). Informe Institucional de Calidad de Trigo 2025/2026. Producción 27,9 Mt; rendimiento promedio nacional 41,3 qq/ha.

Bolsa y Cámara de Cereales de Córdoba. (2026). Relevamiento de Calidad de Trigo - Campaña 2025/2026. Proteína media 9,1%; 83,8% de muestras bajo 11%.

Argentina. Norma XX - Trigo Pan. Resolución SAGPyA 1075/1994 y modificatorias / Resolución 261/1995. Reglas de grado y proteína.

Evidencia directa con ácido ortosilícico / ácido silícico

Soratto, R. P., Crusciol, C. A. C., Castro, G. S. A., Costa, C. H. M. da, & Ferrari Neto, J. (2012). Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36(5), 1538-1544. https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500018

Khalid, A., Nawaz, M., Iqbal, N., & Ashraf, M. Y. (2022). Silicon foliar application improves water stress tolerance in wheat (Triticum aestivum L.) by modulating growth, yield and photosynthetic attributes. Pakistan Journal of Botany, 54(5), 1643-1652. https://doi.org/10.30848/PJB2022-5(27)

Kowalska, J., Tyburski, J., Jakubowska, M., & Krzymińska, J. (2021). Effect of Different Forms of Silicon on Growth of Spring Wheat Cultivated in Organic Farming System. Silicon, 13, 211-217. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00414-4

Déficit hídrico, raíces y rendimiento

Johnson, S. N., Chen, Z.-H., Rowe, R. C., & Tissue, D. T. (2022). Field application of silicon alleviates drought stress and improves water use efficiency in wheat. Frontiers in Plant Science, 13, 1030620. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030620

Ning, D., Zhang, Y., Li, X., Qin, A., Huang, C., Fu, Y., Gao, Y., & Duan, A. (2023). The Effects of Foliar Supplementation of Silicon on Physiological and Biochemical Responses of Winter Wheat to Drought Stress during Different Growth Stages. Plants, 12(12), 2386. https://doi.org/10.3390/plants12122386

Saleh, J., & Soliemanzadeh, A. (2026). Silicon-mediated drought stress tolerance in wheat: Impacts on yield, nutrient uptake, osmotic regulation, and antioxidant responses. Field Crops Research, 337, 110284. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110284

Christian, M. M., Shimelis, H., Laing, M. D., & Tsilo, T. J. (2023). The effect of silicon fertilizers on agronomic performance of bread wheat under drought stress and non-stress conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 209(6), 827-840. https://doi.org/10.1111/jac.12668

Ashfaq, W., Brodie, G., Fuentes, S., Pang, A., & Gupta, D. (2024). Silicon improves root system and canopy physiology in wheat under drought stress. Plant and Soil, 502, 279-296. https://doi.org/10.1007/s11104-023-06202-4

Estructura, calidad y estrés térmico

Berry, P. M., & Spink, J. (2012). Predicting yield losses caused by lodging in wheat. Field Crops Research, 137, 19-26. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.019

Chang, Y., Cui, H., Wang, Y., et al. (2023). Silicon Spraying Enhances Wheat Stem Resistance to Lodging under Light Stress. Agronomy, 13(10), 2565. https://doi.org/10.3390/agronomy13102565

Yang, M., Chen, S., Chao, K., Ji, C., & Shi, Y. (2024). Effects of nano silicon fertilizer on the lodging resistance characteristics of wheat basal second stem node. BMC Plant Biology, 24, 54. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04735-z

Christian, M. M., Shimelis, H., Laing, M. D., Tsilo, T. J., & Burgdorf, R. (2026). Compositions of wheat grain carbon, nitrogen, sulfur and protein under two silicon fertilisers and drought. Journal of Food Composition and Analysis, 156, 109347. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.109347

Liang, Y., Zhu, J., Li, Z., Chu, G., Ding, Y., Zhang, J., & Sun, W. (2008). Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. Environmental and Experimental Botany, 64(3), 286-294. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.06.005

Plagas y enfermedades

de Oliveira, R. S., Sampaio, M. V., Carvalho, F. J., Albuquerque, C. J. B., & Korndörfer, G. H. (2023). Silicon amendments reduce aphid numbers and improve yield of aphid-resistant and susceptible wheat cultivars in a dose-dependent manner. Crop Protection, 172, 106296. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106296

Pazdiora, P. C., Crizel, R. L., Dorneles, K. R., et al. (2023). Silicon amendment improves wheat defence against Fusarium graminearum and complements the control by fungicide of Fusarium head blight. Plant Pathology, 72(1), 53-66. https://doi.org/10.1111/ppa.13648

Economía y mercado argentino

Cámara Arbitral de Cereales de Rosario. (2026). Precios Pizarra del 23 de septiembre de 2026. Trigo: AR$351.100/t; conversión informativa US$232,98/t.

Padula, J. A. (2025). Márgenes brutos de las principales producciones agrícolas extensivas en el partido de San Pedro, Campaña 2025/26. INTA EEA San Pedro.

Bolsa de Comercio de Rosario. (2022-2023). Informes sobre trigo 2022/23, sequía, heladas, producción y mercado.

Fuentes comerciales para racionalización

Syngenta Argentina. Megafol®. Bioestimulante antiestrés. Recomendación en trigo: 1-3 L/ha, prefloración o situaciones de retraso/estrés abiótico.

Atlántica Agrícola. Razormin®. Cultivos extensivos: 0,5-1,0 L/ha foliar; activación y recuperación tras estrés.

COMPO Expert. Basfoliar® Kelp. Trigo: 0,5-1,0 L/ha desde macollaje hasta hoja bandera expandida.

Mercado Libre Argentina. Referencias públicas de precio neto consultadas en septiembre de 2026: Megafol AR$36.074/L; Razormin AR$86.355/L; Basfoliar Kelp AR$29.592/L. Usadas sólo como orden de magnitud, no como cotización mayorista.