BIBLIOTECA DE SILICE

CAPÍTULO CT-NG

MAÍZ EN ARGENTINA

Argentina y ambientes de secano comparables

Silicio · ácido ortosilícico · déficit hídrico · calor · defensa · rendimiento

Documento técnico · Versión 2.0 · Multitransversalidad y protección multivía

Equipo Técnico I+D · NewGreen · Septiembre 2026

EL OBJETIVO NO ES SOLAMENTE QUE EL MAÍZ SOBREVIVA AL ESTRÉS. ES CONSEGUIR QUE UNA MAYOR PARTE DE SU POTENCIAL LLEGUE A GRANOS Y COSECHA CUANDO FALLAN EL AGUA, LA TEMPERATURA O LA DEFENSA.

Resumen ejecutivo

El maíz argentino se produce mayoritariamente bajo secano y una parte sustantiva de su rendimiento depende de la cantidad, distribución y oportunidad del agua disponible. La investigación de INTA muestra que el riego suplementario puede elevar fuertemente el rendimiento frente al secano, mientras los trabajos argentinos sobre fecha de siembra y tolerancia a sequía confirman que el período reproductivo —especialmente la sincronía entre antesis y emisión de estigmas— concentra una parte crítica del riesgo productivo (Cirilo, 2015; Giubergia et al., 2021; Galizia et al., 2024).

El déficit hídrico es una de las principales vías de pérdida del maíz, pero no la única. El rendimiento puede deteriorarse simultáneamente por menor exploración radical, caída del estado hídrico, menor fotosíntesis, daño oxidativo, calor durante polinización y presión biótica. La evidencia sobre silicio debe interpretarse sobre esa red de procesos: diferentes mecanismos pueden converger sobre un mismo objetivo productivo, conservar granos y rendimiento.

La evidencia directa con una formulación de ácido silícico estabilizado capaz de generar ácido ortosilícico (AOS) al diluirse merece un lugar central. Crusciol et al. (2013), en UNESP, trabajaron a campo con 14 repeticiones y una formulación foliar estabilizada que forma ácido ortosilícico al diluirse. En maíz, dos aplicaciones de 1,0 L/ha en V4 y V8 elevaron el Si foliar de 25 a 30 g/kg, los granos por espiga de 444 a 510 (+14,9%) y el rendimiento de 6.697 a 7.098 kg/ha: +401 kg/ha, aproximadamente +6%. La población, el número de espigas por planta y el peso de 100 granos no cambiaron significativamente. La respuesta apareció, por tanto, en un componente reproductivo concreto: más granos por espiga.

Argentina aporta además un antecedente productivo localizado en Arrecifes, Buenos Aires, donde una aplicación silicatada elevó el rendimiento informado de 5.835 a 7.234 kg/ha (+1.399 kg/ha; +23,9%). El ensayo fue presentado por técnicos vinculados al producto evaluado y no debe confundirse con un

ensayo independiente institucional; su valor es demostrar que una respuesta productiva positiva ya fue registrada dentro de un lote argentino (Vivanco Arias & Luthard, 2011).

La evidencia internacional amplía la cadena causal. Lima et al. (2025), en dos campañas de campo, obtuvieron aproximadamente +556 kg/ha con la dosis de mejor respuesta y calcularon un beneficio diferencial máximo de US$97,11/ha. Ning et al. (2020) demostraron que la severidad de la pérdida depende de la etapa del déficit y que el Si puede recuperar una fracción importante del rendimiento cuando el estrés ocurre en V6, V12 o R2. Costa et al. (2026) integraron 410 observaciones apareadas de 13 estudios y confirmaron respuestas convergentes sobre estado hídrico, antioxidantes, pigmentos, intercambio gaseoso, raíces y biomasa.

El valor del silicio en maíz tampoco termina en sequía. Munawar et al. (2025) mostraron a campo que el suministro de Si puede sostener fotosíntesis, eficiencia de uso del agua, antioxidantes, componentes de mazorca y rendimiento bajo calor impuesto durante polinización, con respuestas dependientes del híbrido. Li et al. (2026) demostraron además que el Si puede activar defensas químicas del maíz frente a Spodoptera frugiperda, elevando benzoxazinoides y flavonoides y alterando la capacidad de detoxificación de las larvas. Estas rutas no convierten al Si en sustituto automático de riego, genética, insecticidas o fungicidas; muestran que su acción potencial es multitransversal.

La integración de esta evidencia permite separar dos conceptos complementarios. Multitransversalidad fisiológica significa que existen varias vías de acción documentadas; protección multivía significa que esas vías ofrecen distintas oportunidades de impedir que el mismo potencial productivo se pierda antes de cosecha.

MULTITRANSVERSALIDAD FISIOLÓGICA = VARIAS VÍAS DE ACCIÓN. PROTECCIÓN MULTIVÍA = VARIAS OPORTUNIDADES DE EVITAR QUE EL POTENCIAL DEL MAÍZ SE PIERDA.

1. Maíz argentino: producir con el agua disponible

El maíz de secano no recibe un volumen de agua decidido por el productor. El resultado surge de la combinación entre precipitaciones, agua almacenada en el perfil, profundidad efectiva de raíces, textura y estructura del suelo, cobertura, demanda atmosférica, fecha de siembra y momento fenológico.

Los trabajos de INTA sobre maíz tardío muestran por qué la fecha de siembra es una herramienta de manejo hídrico y no sólo de calendario. Retrasar la siembra puede desplazar el período crítico hacia momentos con mayor probabilidad de agua disponible y menor demanda atmosférica, reduciendo la exposición del cultivo a una combinación de sequía y calor (Cirilo, 2015; Pagnan et al., 2023).

Los ensayos de riego suplementario permiten dimensionar la restricción. Giubergia et al. (2021) encontraron en INTA Manfredi aumentos medios cercanos a 35% en maíz de primera y 30% en maíz

de segunda frente a secano. El número exacto cambia con campaña y manejo, pero la conclusión es estable: cuando el agua se vuelve limitante, una fracción grande del potencial deja de expresarse.

EL PRODUCTOR NO CONTROLA CUÁNTO VA A LLOVER. LA OPORTUNIDAD ES CONSEGUIR QUE CADA MILÍMETRO DISPONIBLE TENGA EL MAYOR VALOR PRODUCTIVO POSIBLE.

2. El momento del déficit define cuánto rendimiento está en riesgo

La misma cantidad de agua faltante no tiene el mismo costo en todas las etapas. El maíz puede compensar parcialmente una restricción temprana, pero la capacidad de recuperación disminuye cuando el estrés coincide con la definición del número de granos.

Galizia, Palifermo y Otegui (2024), dentro de un programa público argentino de mejoramiento, utilizan el intervalo antesis-emisión de estigmas como un indicador de tolerancia a estrés hídrico. Cuando la restricción prolonga ese intervalo, aumenta la desincronización reproductiva y disminuye la probabilidad de fecundación.

Ning et al. (2020) impusieron sequía en V6, V12 y R2. Sin Si, el rendimiento cayó 12,9%, 28,9% y 44,8%, respectivamente. El mismo experimento mostró que el costo del estrés aumentó a medida que la restricción se acercó a etapas reproductivas. Ésa es la lectura agronómica más importante: proteger funcionamiento cerca de floración y llenado puede tener un valor productivo desproporcionadamente alto.

NO BASTA PREGUNTAR CUÁNTA AGUA FALTÓ. HAY QUE PREGUNTAR CUÁNDO FALTÓ Y CUÁNTOS GRANOS ESTABA DEFINIENDO EL CULTIVO EN ESE MOMENTO.

3. La fisiología que sí importa: raíz → agua → fotosíntesis → reproducción

La fisiología necesaria para interpretar la respuesta puede resumirse en una cadena. La raíz explora el perfil y abastece agua y nutrientes. Cuando disminuye el potencial hídrico, cambia la conductancia estomática; con ello cae la entrada de CO_2 y puede disminuir la fotosíntesis. Si el estrés se prolonga, aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno y se deterioran pigmentos, membranas y metabolismo. Si esa secuencia coincide con floración, puede reducir crecimiento de estigmas, fecundación y número final de granos.

Por eso, raíces, estado hídrico, fotosíntesis, antioxidantes y reproducción no son beneficios separados. Son eslabones de una misma construcción de rendimiento. Un tratamiento puede modificar varios a la vez y terminar expresándose como una sola diferencia de kg/ha.

FORTALECER LA FISIOLOGÍA NO ES EL OBJETIVO FINAL. EL OBJETIVO ES QUE UNA MAYOR PARTE DEL POTENCIAL TERMINE COMO GRANO COSECHABLE.

4. ¿Dónde entra el silicio?

El maíz pertenece a Poaceae y posee capacidad elevada para incorporar Si. La forma soluble absorbida desde la solución es el ácido monosilícico u ortosilícico, H_4SiO_4. Una vez incorporado, el elemento puede depositarse en tejidos y participar además en respuestas fisiológicas y bioquímicas.

La evidencia específica en maíz describe respuestas sobre contenido relativo de agua, conductancia estomática, fotosíntesis, pigmentos, enzimas antioxidantes, prolina, crecimiento radical, biomasa, componentes de mazorca, respuesta al calor y defensas frente a herbívoros. La magnitud depende de genotipo, ambiente, fuente, concentración y momento.

Esa variabilidad no obliga a debilitar el argumento. Obliga a formularlo correctamente: no existe un porcentaje universal, pero sí existen mecanismos independientes que convergen sobre la conservación del potencial productivo.

EL SILICIO NO COMBATE EL ESTRÉS POR LA PLANTA. AYUDA A QUE LA PLANTA CONSERVE Y ACTIVE MEJOR SUS PROPIAS VÍAS DE FUNCIONAMIENTO Y DEFENSA.

5. Argentina: una respuesta productiva local ya fue documentada

Vivanco Arias y Luthard (2011) presentaron en las Actas de la Segunda Reunión de la Red Argentina de Salinidad un ensayo realizado en Arrecifes, Buenos Aires, sobre maíz Pioneer 31Y04. El rendimiento informado pasó de 5.835 kg/ha en el testigo a 7.234 kg/ha en el tratamiento evaluado: +1.399 kg/ha, aproximadamente +23,9%.

El trabajo fue presentado por técnicos vinculados al producto utilizado y, aunque el lote se encontraba en INTA Arrecifes, no corresponde presentarlo como un ensayo independiente del INTA. Por esa razón, se interpreta como un antecedente productivo localizado y vinculado a la tecnología evaluada.

El resultado no define una dosis universal ni permite prometer +23,9% en otros ambientes. Sí establece un hecho útil para la discusión argentina: existe un antecedente local cuantificado donde una estrategia silicatada estuvo asociada a una diferencia productiva agronómicamente grande.

EN ARGENTINA YA EXISTE UNA SEÑAL PRODUCTIVA LOCAL. SU FUNCIÓN NO ES PROMETER UN PORCENTAJE: ES DEMOSTRAR QUE LA RESPUESTA ES POSIBLE EN UN LOTE ARGENTINO.

6. Ácido ortosilícico: evidencia directa de campo con 14 repeticiones

Crusciol, Soratto, Castro, Ferrari Neto y Costa (2013), de UNESP y Embrapa, realizaron en Botucatu un ensayo de campo específico en maíz. El diseño fue en bloques al azar con 14 repeticiones. Compararon un control sin Si con 2,0 L/ha de una formulación que contenía 0,8% de Si soluble como ácido silícico concentrado estabilizado, capaz de formar ácido ortosilícico al diluirse.

En maíz, el programa se dividió en dos aplicaciones de 1,0 L/ha en V4 y V8. El Si foliar aumentó de 25 a 30 g/kg. También aumentaron K, Ca y Mg foliares. La población final, el número de espigas por planta y la masa de 100 granos no mostraron diferencias significativas.

El cambio apareció en el componente reproductivo: los granos por espiga pasaron de 444 a 510, aproximadamente +14,9%. El rendimiento aumentó de 6.697 a 7.098 kg/ha, una diferencia de 401 kg/ha y cerca de +6%.

Variable	Control	Ácido silícico estabilizado	Lectura
Si foliar	25 g/kg	30 g/kg	+20%; confirma mayor acumulación en tejido.
Granos/espiga	444	510	+14,9%; componente reproductivo que respondió.
Población final	58.400 pl/ha	58.500 pl/ha	Sin diferencia significativa.
Espigas/planta	0,9	0,9	Sin diferencia significativa.
Masa 100 granos	35,3 g	35,4 g	Sin diferencia significativa.
Rendimiento	6.697 kg/ha	7.098 kg/ha	+401 kg/ha; ≈ +6%.

El ensayo no fue diseñado como una prueba de sequía y las plagas se controlaron. Su fuerza es distinta: demuestra, con alta repetición experimental y a campo, que una fuente soluble estabilizada aplicada en bajo volumen puede aumentar Si en la planta, modificar el número de granos por espiga y llegar a rendimiento.

EN ESTE ENSAYO, LA CADENA FUE CLARA: MÁS SI EN TEJIDO → MÁS GRANOS POR ESPIGA → MÁS RENDIMIENTO.

7. Dos campañas de campo: rendimiento y rentabilidad

Lima et al. (2025) evaluaron durante dos campañas aplicaciones foliares de 0, 150, 300, 450 y 600 g Si/ha en Goiás, Brasil. La dosis de 150 g Si/ha produjo la mejor respuesta productiva, con aproximadamente +556 kg/ha, cerca de +10% frente al control.

El trabajo agrega una dimensión poco frecuente: incorporó análisis económico. La dosis de mejor respuesta alcanzó un beneficio diferencial máximo de US$97,11/ha en las condiciones y precios utilizados por los autores.

La importancia del resultado no está en trasladar esa dosis a Argentina. Está en que un ensayo de dos campañas, a campo, conectó tratamiento, fisiología, rendimiento y rentabilidad. Eso acerca la evidencia a la pregunta que realmente hace el productor.

LA EVIDENCIA MÁS ÚTIL NO TERMINA EN UNA HOJA MÁS VERDE. TERMINA EN KG/HA Y, CUANDO ES POSIBLE, EN MARGEN.

8. Déficit hídrico: la síntesis de 410 observaciones

Costa et al. (2026) publicaron la primera metanálisis específica sobre silicio y maíz bajo déficit hídrico. Integraron 410 observaciones apareadas provenientes de 13 estudios independientes.

El patrón fue convergente. El Si redujo indicadores de daño oxidativo como MDA y H_2O_2 y aumentó la respuesta de SOD, CAT, POD y APX. También mejoró ascorbato, prolina y fenoles, preservó clorofilas y carotenoides y sostuvo fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración. Las respuestas se tradujeron en mayor crecimiento radical y biomasa bajo estrés.

Los tamaños de efecto de una metanálisis no son porcentajes de rendimiento y no deben convertirse en kg/ha. Su valor está en demostrar que grupos de investigación diferentes encuentran la misma dirección de respuesta en varias partes de la fisiología.

CUANDO RAÍCES, AGUA, PIGMENTOS, FOTOSÍNTESIS Y ANTIOXIDANTES RESPONDEN EN LA MISMA DIRECCIÓN, YA NO ESTAMOS MIRANDO UN MECANISMO AISLADO.

9. La etapa del estrés cambia la magnitud de la respuesta

Ning et al. (2020) utilizaron columnas de suelo bajo refugio de lluvia e impusieron sequía en V6, V12 y R2. El déficit redujo área foliar, contenido de agua, fotosíntesis, clorofila y actividad antioxidante y aumentó peroxidación lipídica.

La respuesta productiva al Si dependió de la etapa. Frente al maíz estresado sin Si, el tratamiento aumentó el rendimiento 12,4% cuando el déficit se impuso en V6, 69,8% en V12 y 80,8% en R2. Estas magnitudes provienen de un sistema experimental protegido y no deben trasladarse como expectativa de campo comercial. Su valor es demostrar que la oportunidad de respuesta aumenta cuando el estrés amenaza procesos reproductivos de alto costo.

El mismo trabajo conectó el rendimiento con clorofila y actividad de SOD y POD. Es decir, no se observó sólo un efecto final: se identificaron mecanismos fisiológicos asociados a la conservación del grano.

UNA HERRAMIENTA FISIOLÓGICA VALE MÁS CUANDO EL ESTRÉS COINCIDE CON EL MOMENTO EN QUE EL CULTIVO TIENE MÁS RENDIMIENTO EN JUEGO.

10. Calor: una segunda vía climática de pérdida

En maíz, el calor durante polinización puede deteriorar fotosíntesis, fertilidad y formación de granos incluso cuando el problema no es exclusivamente falta de agua. En secano, sequía y temperatura no deben analizarse como riesgos completamente separados porque pueden coincidir sobre las mismas etapas de máxima sensibilidad reproductiva.

Munawar et al. (2025) evaluaron a campo dos híbridos contrastantes y un estrés térmico de 45 ± 3 °C durante ocho días alrededor de VT-R0-R1. El tratamiento con Si por inoculación de semilla mejoró fotosíntesis, conductancia estomática, eficiencia de uso del agua, actividad antioxidante y componentes de rendimiento bajo calor. La magnitud dependió del híbrido: el material tolerante expresó la mejor combinación de fisiología y rendimiento con 6 mM Si, mientras el material sensible respondió menos.

Este trabajo no define una recomendación de tratamiento de semilla para Argentina ni demuestra equivalencia con una aplicación foliar de AOS. Sí aporta evidencia directa en maíz de que la transversalidad del Si se extiende desde sequía hacia estrés térmico y que el genotipo condiciona la magnitud.

EN MAÍZ, AGUA Y CALOR PUEDEN CONVERGER SOBRE EL MISMO CUELLO DE BOTELLA: POLINIZACIÓN, FORMACIÓN DE GRANOS Y LLENADO.

11. Cogollero: evidencia de una vía defensiva distinta

Spodoptera frugiperda agrega una ruta de pérdida completamente diferente del déficit hídrico. El interés del Si aquí no está en presentarlo como insecticida, sino en su capacidad para modificar el hospedero.

Li et al. (2026) estudiaron cómo el Si modifica la resistencia química del maíz frente a S. frugiperda. La suplementación con Si redujo crecimiento larval, fecundidad y eficiencia digestiva. El análisis metabolómico mostró mayor presencia de benzoxazinoides y flavonoides en hojas, mientras la transcriptómica y los ensayos enzimáticos de las larvas indicaron supresión de sistemas de detoxificación como citocromos P450 y glutatión-S-transferasas.

La respuesta no se explicó principalmente por daño físico de mandíbulas o intestino, sino por una defensa química inducida del maíz que aumentó el costo fisiológico para el herbívoro. Esta evidencia es mecanística y no reemplaza monitoreo, umbrales ni control químico cuando corresponde. Su valor es demostrar que el espectro funcional del Si alcanza una vía biótica independiente de agua y calor.

EL SILICIO NO NECESITA MATAR UNA PLAGA PARA TENER VALOR. SI MODIFICA LA VULNERABILIDAD DEL HOSPEDERO, YA ESTÁ INTERVINIENDO EN OTRA VÍA DE PÉRDIDA.

12. Fuentes tradicionales y ácido ortosilícico: fundamento y eficiencia de entrega

La bibliografía de maíz utiliza fuentes muy diferentes: silicatos al suelo, silicato de potasio, dióxido de silicio, formulaciones foliares y ácido silícico estabilizado. No corresponde comparar porcentajes entre experimentos como si todas las fuentes, dosis y ambientes fueran equivalentes.

Las fuentes tradicionales construyeron el fundamento científico: demostraron que el Si puede modificar tolerancia a sequía, antioxidantes, fotosíntesis, crecimiento y defensa. La evidencia con ácido silícico estabilizado agrega una pregunta tecnológica distinta: ¿puede una fuente soluble que entrega Si en una forma próxima a la absorbible producir una respuesta con baja carga material? El ensayo de Crusciol et al. (2013) responde afirmativamente en maíz de campo.

La forma soluble absorbida por la planta es H_4SiO_4. Por eso, silicio total declarado y silicio realmente disponible no son sinónimos. Solubilidad, estabilidad de la formulación, pH, polimerización, dosis efectiva y momento determinan cuánto del elemento puede llegar al tejido.

NO SE TRATA DE APLICAR MÁS SILICIO. SE TRATA DE UTILIZARLO DE MANERA MÁS EFICIENTE.

13. Concentración de Si en tejido no es lo mismo que suficiencia funcional

Un valor foliar de Si confirma que la planta absorbió y acumuló el elemento. No demuestra por sí solo que el cultivo haya alcanzado un nivel funcionalmente suficiente para maximizar una respuesta agronómica.

Los rangos históricos de Si en tejido se utilizaron muchas veces para describir acumulación basal o clasificar especies como acumuladoras o no acumuladoras. Esa información no debe transformarse automáticamente en un umbral moderno de suficiencia. Para hablar de suficiencia funcional se necesita relacionar concentración con tejido muestreado, fenología, genotipo, ambiente y, especialmente, ausencia de respuesta adicional al aumentar la disponibilidad.

El ensayo de Crusciol et al. (2013) ilustra bien el principio: el maíz control ya contenía Si, pero elevar la concentración foliar de 25 a 30 g/kg se asoció con más granos por espiga y mayor rendimiento. La presencia previa del elemento no significaba necesariamente que la respuesta estuviera saturada.

TENER SILICIO EN LA HOJA DEMUESTRA ABSORCIÓN. DEMOSTRAR SUFICIENCIA EXIGE SABER QUE MÁS DISPONIBILIDAD YA NO PRODUCE UNA RESPUESTA FUNCIONAL ADICIONAL.

14. Multitransversalidad fisiológica: varias vías dentro del mismo maíz

Después de separar los mecanismos, corresponde integrarlos. El maíz no enfrenta raíces, sequía, calor, oxidación y herbivoría como problemas independientes. Durante una campaña pueden superponerse o sucederse, y todos terminan compitiendo por el mismo potencial de rendimiento.

La multitransversalidad fisiológica describe precisamente eso: una misma estrategia posee evidencia sobre procesos distintos —raíces, relaciones hídricas, fotosíntesis, antioxidantes, reproducción y defensa— que pueden converger sobre el mismo resultado.

Esto no autoriza a sumar porcentajes. Si una mejor fotosíntesis y un menor daño oxidativo explican conjuntamente 400 kg/ha preservados, existen 400 kg/ha, no dos beneficios económicos independientes. Los mecanismos explican cómo se protegió el cultivo; la cosecha muestra cuánto terminó valiendo.

Vía de pérdida	Qué compromete	Evidencia de Si en maíz
Déficit hídrico	Estado hídrico, estomas, fotosíntesis, biomasa y granos.	Costa 2026; Ning 2020; Lima 2025.
Raíces	Acceso al agua y nutrientes del perfil.	Metanálisis Costa 2026; estudios integrados de déficit.
Estrés oxidativo	Membranas, pigmentos y tejido funcional.	Costa 2026; Ning 2020.
Reproducción	Número de granos por espiga y rendimiento.	Crusciol 2013: 444→510 granos/espiga; +401 kg/ha.
Calor	Fotosíntesis, polinización y llenado.	Munawar 2025: respuesta fisiológica y productiva dependiente de híbrido.

Vía de pérdida	Qué compromete	Evidencia de Si en maíz
Herbivoría	Consumo, desarrollo larval y presión de plaga.	Li 2026: defensa química y disrupción de detoxificación en S. frugiperda.
Disponibilidad de Si	Que el elemento no alcance una forma absorbible o tejido objetivo.	Ma & Yamaji 2006; Thakral et al. 2024; Crusciol 2013.

MULTITRANSVERSALIDAD NO SIGNIFICA HACER SIETE PROMESAS. SIGNIFICA QUE UNA MISMA HERRAMIENTA TIENE EVIDENCIA SOBRE VARIOS PUNTOS DONDE EL CULTIVO PUEDE PERDER POTENCIAL.

15. Protección multivía: la traducción productiva

La protección multivía es la traducción agronómica de la multitransversalidad. Un año puede expresar el valor principalmente por agua; otro por calor; otro por formación de granos; otro por menor vulnerabilidad frente a una presión biótica. La herramienta no necesita que todos los problemas aparezcan simultáneamente para tener sentido.

Esto tampoco convierte al Si en reemplazo universal. La fecha de siembra, el híbrido, la nutrición, la conservación de agua, el monitoreo de plagas y los fitosanitarios siguen cumpliendo funciones específicas. Una herramienta transversal se integra al programa y sólo justifica racionalizar otras intervenciones cuando existe superposición funcional real y el monitoreo lo permite.

La monetización de esas vías corresponde al Dossier Económico. El capítulo técnico demuestra por qué existe más de una ruta biológica por la cual la misma inversión puede terminar protegiendo kg/ha.

MULTITRANSVERSALIDAD FISIOLÓGICA EXPLICA EL CÓMO. PROTECCIÓN MULTIVÍA EXPLICA EL PARA QUÉ.

16. Qué significa para el maíz argentino

La evidencia argentina define con claridad el problema productivo: el agua y el momento de la restricción condicionan fuertemente el rendimiento. También existe una señal local positiva de respuesta productiva a una fuente silicatada.

La evidencia internacional agrega las piezas que el antecedente argentino por sí solo no puede resolver. El ácido silícico estabilizado tiene evidencia directa a campo en maíz con 14 repeticiones y respuesta sobre granos por espiga y rendimiento. Dos campañas en Brasil conectan Si con rendimiento y rentabilidad. La metanálisis 2026 demuestra convergencia fisiológica frente a sequía. Los estudios de calor y herbivoría amplían la protección hacia vías diferentes.

Una validación local rigurosa debería medir como mínimo rendimiento corregido, número de granos por espiga, peso de grano, Si foliar, estado hídrico y una caracterización del estrés ocurrido. Cuando sean pertinentes, conviene agregar temperatura de canopia, indicadores de vuelco o presión de cogollero. El objetivo es identificar no sólo si hubo respuesta, sino también qué procesos contribuyeron a ella.

La magnitud final debe validarse por híbrido, ambiente, fuente y estrategia de aplicación. Esa variabilidad no elimina la base científica existente: obliga a interpretar la respuesta dentro del sistema productivo donde se utiliza.

ARGENTINA NO NECESITA PARTIR DE CERO. NECESITA VALIDAR LOCALMENTE UNA HIPÓTESIS QUE YA TIENE EVIDENCIA PRODUCTIVA, FISIOLÓGICA Y TECNOLÓGICA.

17. Resultados cuantificados seleccionados

Evidencia	Condición	Fuente/estrategia	Resultado principal	Lectura
Arrecifes · Argentina 2011	Lote argentino	Fuente silicatada	5.835→7.234 kg/ha; +1.399 kg/ha; +23,9%	Señal local positiva; vinculada al producto evaluado.
Crusciol et al. 2013	Campo · 14 repeticiones	Ácido silícico estabilizado foliar · V4 + V8	444→510 granos/espiga; 6.697→7.098 kg/ha (+401; ≈+6%)	Evidencia directa de AOS/ácido silícico, tejido y cosecha.
Lima et al. 2025	Campo · 2 campañas	Si foliar	≈ +556 kg/ha; ≈ +10%; beneficio diferencial máx. US$97,11/ha	Conecta respuesta productiva y económica.
Ning et al. 2020	Déficit en V6, V12 y R2	Si bajo sistema protegido de lluvia	Respuesta de rendimiento +12,4%, +69,8%, +80,8% vs estresado sin Si	Demuestra dependencia de la etapa; no extrapolar porcentajes.
Costa et al. 2026	13 estudios · 410 pares	Metanálisis	Mejor estado hídrico, antioxidantes, fotosíntesis, raíces y biomasa	Convergencia multivía bajo sequía.
Munawar et al. 2025	Campo · calor en polinización	Si en semilla · 2 híbridos	Mejor fisiología, WUE, antioxidantes y rendimiento; respuesta genotipo-dependiente	Vía climática distinta del déficit hídrico.
Li et al. 2026	Interacción maíz-cogollero	Suplementación con Si	Menor crecimiento/fecundidad larval; mayor defensa química vegetal	Vía biótica; no equivale a insecticida.

18. Preguntas para el asesor técnico

- ¿Cuánta agua útil hay en el perfil al momento de la siembra y qué profundidad efectiva pueden explorar las raíces?
- ¿La principal pérdida histórica del lote ocurre por sequía, calor, combinación de ambos o variabilidad entre campañas?
- ¿En qué fecha de siembra se ubica la floración y qué probabilidad existe de déficit o calor alrededor de VT-R1?
- ¿Qué híbrido se utiliza y qué antecedentes tiene frente a sequía, calor y estabilidad del intervalo antesis-emisión de estigmas?
- ¿Cuál es el rendimiento objetivo y qué componente suele limitarlo: plantas, espigas, granos por espiga o peso final?
- ¿Qué historial existe de Spodoptera frugiperda u otras presiones bióticas relevantes?
- ¿Qué fuente de silicio se está evaluando y en qué forma química se entrega el elemento?
- ¿Existe información sobre solubilidad, estabilidad y capacidad de elevar Si en tejido?
- ¿La concentración foliar que se mide es sólo un indicador de absorción o existe evidencia de que represente suficiencia funcional para ese híbrido y ambiente?

- ¿La estrategia cubre etapas donde interesa proteger crecimiento vegetativo y construcción reproductiva?
- ¿La aplicación puede integrarse a una pasada ya programada?
- ¿El ensayo mantendrá un control sin Si, replicación suficiente y medición de rendimiento corregido?
- ¿Se medirán granos por espiga, peso de grano, Si foliar y una caracterización simple de agua y temperatura para explicar la respuesta?

19. Conclusión

El problema productivo del maíz argentino está bien definido: una parte importante del potencial puede perderse por restricciones hídricas, térmicas, fisiológicas y bióticas. Frente a esas vías de pérdida, la evidencia sobre silicio es convergente y ya incluye resultados productivos directos de campo.

Argentina aporta un antecedente local con +1.399 kg/ha, cuya procedencia debe interpretarse con cuidado pero cuya magnitud no corresponde minimizar. La evidencia directa con una formulación estabilizada capaz de generar AOS al diluirse agrega una pieza de alta calidad: 14 repeticiones, dos aplicaciones en V4 y V8, mayor Si foliar, +14,9% de granos por espiga y +401 kg/ha de rendimiento. Ése es el tipo de cadena experimental que fortalece la discusión de AOS.

Lima et al. (2025) agrega dos campañas y rentabilidad; Ning et al. (2020) demuestra que la respuesta puede crecer cuando el estrés coincide con etapas de mayor sensibilidad; Costa et al. (2026) confirma, sobre 410 observaciones, que las respuestas convergen en agua, antioxidantes, pigmentos, intercambio gaseoso, raíces y biomasa.

La multitransversalidad aparece al ampliar el horizonte. El calor durante polinización constituye una vía climática distinta, y el trabajo de Munawar et al. (2025) demuestra respuestas de fisiología y rendimiento dependientes del híbrido. La investigación molecular de Li et al. (2026) muestra una vía defensiva frente a cogollero basada en cambios químicos del hospedero y en la alteración de la detoxificación del insecto.

No todos esos mecanismos se expresarán a la vez, ni todas las fuentes ni híbridos responderán igual. Ésa no es una debilidad del concepto: es la razón por la que el valor de una herramienta transversal debe analizarse por vías de protección y no como una promesa fija de porcentaje.

El criterio técnico final es simple. En maíz de secano, el objetivo no es que la planta “se vea mejor”. El objetivo es conservar suficiente raíz, agua, fotosíntesis, integridad celular, fecundación y defensa para que una mayor proporción del potencial termine como granos cosechables.

LA MULTITRANSVERSALIDAD DEL SILICIO NO CONSISTE EN SUMAR BENEFICIOS SOBRE EL PAPEL. CONSISTE EN PROTEGER, POR VARIAS VÍAS, LA MISMA MÁQUINA BIOLÓGICA QUE CONSTRUYE EL RENDIMIENTO.

Bibliografía

Cirilo, A. (2015). Maíz tardío, una elección que aporta estabilidad. INTA Informa, 18 de diciembre de 2015. https://intainforma.inta.gob.ar/maiz-tardio-una-eleccion-que-aporta-estabilidad/

Giubergia, J. P.; Salinas, A. I.; Severina, I.; Boccardo, M.; Aimar, F.; Lavado, R. S. (2021). Efecto del riego suplementario sobre el suelo y el rendimiento del maíz (Zea mays L.) en el centro norte de la Provincia de Córdoba. Agronomía & Ambiente, 41(2), 71-82.

Galizia, L. A.; Palifermo, F. N.; Otegui, M. E. (2024). Mejoramiento de la tolerancia a estrés hídrico en maíz en un programa de mejoramiento público. ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 16(2), e3305. DOI: 10.18272/aci.v16i2.3305.

Pagnan, L. F.; Gonzalez, R.; Daniele, C. (2023). Fecha de siembra, densidad y ajuste de la fertilización nitrogenada en maíz. AER Justiniano Posse, INTA. http://hdl.handle.net/20.500.12123/15037

Vivanco Arias, M.; Luthard, L. (2011). Incremento de productividad en maíz para grano, con la utilización de Quick-Sol en la localidad de Arrecifes, Bs. As., Argentina. Actas de la Segunda Reunión de la Red Argentina de Salinidad (RASTUC 2011), 24-26 de agosto de 2011.

Crusciol, C. A. C.; Soratto, R. P.; Castro, G. S. A.; Ferrari Neto, J.; Costa, C. H. M. da. (2013). Leaf application of silicic acid to upland rice and corn. Semina: Ciências Agrárias, 34(6), 2803-2808. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p2803.

Lima, M. de L.; Flores, R. A.; Xavier, M. F. N.; Sousa, R. G. de; Casaroli, D.; Dapper, F. P.; Capuchinho, F. F.; Santos, G. G.; Abdala, K. de O.; Momesso, L. (2025). Silicon as a Strategy to Mitigate Abiotic Stresses and Improve Physiological Performance and Grain Yield of Maize Grown Under Tropical Climate Conditions. Plants, 14(17), 2755. DOI: 10.3390/plants14172755.

Ning, D.; Qin, A.; Liu, Z.; Duan, A.; Xiao, J.; Zhang, J.; Zhao, B.; Liu, Z. (2020). Silicon-Mediated Physiological and Agronomic Responses of Maize to Drought Stress Imposed at the Vegetative and Reproductive Stages. Agronomy, 10(8), 1136. DOI: 10.3390/agronomy10081136.

Costa, M. G.; Oliveira, K. S.; Prado, R. de M.; Calero Hurtado, A.; Palaretti, L. F.; Souza Júnior, J. P. (2026). Mechanisms of silicon as a key modulator of maize defense under water deficit: Meta-analytical insights. Plant Stress, 21, 101350. DOI: 10.1016/j.stress.2026.101350.

Munawar, S.; Ikram, R. M.; Roetter, R. P.; Hussain, I.; Afzal, M.; Ghazy, A.-H.; Ahmad, S.; Habib-ur-Rahman, M. (2025). Silicon seed inoculation enhances antioxidants, physiology and yield of hybrid maize under heat stress. BMC Plant Biology, 25, 417. DOI: 10.1186/s12870-025-06399-9.

Li, L.; Zhan, J.; Li, Y.; Liu, J.; Bi, J.; Xiong, Z.; Hu, F.; Wang, X.; Zhou, S.; Zeng, B.; Zhang, X. (2026). Silicon-Mediated Maize Chemical Resistance Disrupts Midgut Detoxification in Spodoptera frugiperda. Journal of Applied Entomology. DOI: 10.1111/jen.70091.

Ma, J. F.; Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11(8), 392-397. DOI: 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. DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108459.