BIBLIOTECA DE SILICE

CAPÍTULO CT-NG

GIRASOL PARA ACEITE

Argentina y ambientes de secano comparables

Silicio · ácido ortosilícico · rendimiento · materia grasa · aceite por hectárea

Documento técnico · Versión 2.0 · Multitransversalidad y protección multivía

Equipo Técnico I+D · NewGreen · Septiembre 2026

EL OBJETIVO NO ES SOLAMENTE CONSERVAR LA PLANTA. ES PROTEGER CUÁNTA SEMILLA Y CUÁNTO ACEITE ENTREGA CADA HECTÁREA CUANDO EL AGUA ES LIMITANTE.

Resumen ejecutivo

En girasol oleaginoso, el resultado economico no termina en los kilogramos de aquenios. El valor productivo surge de la combinacion entre rendimiento de semilla, concentracion de aceite y calidad industrial. Esto es especialmente importante en secano, porque el deficit hidrico puede reducir simultaneamente la cantidad de semilla formada, el peso de los aquenios, la materia grasa y la composicion de acidos grasos. Por eso, una tecnologia que ayude a conservar el funcionamiento del cultivo durante periodos de restriccion hidrica debe evaluarse por su capacidad de proteger aceite por hectarea, no solamente biomasa o apariencia vegetativa.

Argentina ofrece un contexto especialmente pertinente. Un analisis nacional publicado en Field Crops Research, con participacion de INTA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Universidad Nacional de Mar del Plata, Bolsa de Cereales y AAPRESID, estimo que la brecha actual de rendimiento del girasol argentino se situa entre 34% y 40% del rendimiento potencial limitado por agua, segun el metodo de estimacion utilizado (Rodriguez et al., 2024). En la Red INTA-ASAGIR, la campaña 2024/25 en Reconquista alcanzo un promedio de 3.052 kg/ha y 50% de aceite pese a lluvias inferiores al promedio; dentro del mismo ensayo el contenido de aceite vario entre 44% y 54%, una diferencia comercialmente muy relevante (Sandoval, 2025).

La evidencia cientifica sobre silicio en girasol es suficiente para construir un argumento tecnico robusto. Ensayos independientes realizados en ambientes aridos, semiaridos y calidos muestran respuestas positivas sobre rendimiento, contenido de aceite, rendimiento de aceite, productividad del agua y variables fisiologicas directamente relacionadas con la conservacion del potencial productivo. La convergencia proviene de Menoufia University, King Saud University, University of Baghdad, Desert Research Center de Egipto (New Valley), Ankara University, University of Leeds, Universidade Federal de Goias, UNESP y Slovak University of Agriculture, entre otras instituciones.

La evidencia mas directamente relacionada con fuentes eficientes proviene de la Slovak University of Agriculture in Nitra. Durante dos campañas de campo en una region clasificada como muy calida y

seca, una formulacion foliar basada en acido ortosilicico (AOS; 2,5% Si) fue evaluada en cuatro hibridos. El control promedio produjo 3,58 t/ha. Una aplicacion de AOS en 6-8 hojas llevo el rendimiento a 3,82 t/ha y el contenido de aceite a 46,20%, frente a 44,65% del control. Dos aplicaciones de AOS -6-8 hojas e inicio de floracion- alcanzaron 4,01 t/ha, aproximadamente 12% mas rendimiento que el testigo. Calculado a partir de las medias publicadas, el aceite por hectarea paso de aproximadamente 1,60 a 1,83 t/ha, un incremento cercano a 14,4% (Ernst et al., 2023).

La evidencia con fuentes tradicionales refuerza el mismo principio agronomico. En Menoufia, dos temporadas de campo sometidas a deficit moderado y severo mostraron que 150 g Si/ha via foliar, aplicados en dos momentos, aumentaron bajo el deficit severo el rendimiento de semilla desde aproximadamente 1.300 a 1.514 kg/ha y el rendimiento de aceite desde aproximadamente 437 a 542 kg/ha. Es decir, cerca de +16,5% en semilla y +24% en aceite bajo la misma restriccion hidrica (Seleiman et al., 2019).

A esta lectura productiva se agrega una dimensión que cambia la valoración económica del Si: su acción no se concentra en una única variable. El mismo cultivo puede enfrentar déficit hídrico, calor, daño foliar, debilidad estructural, presión de insectos o enfermedades y problemas durante floración o llenado. Cuando una tecnología reduce vulnerabilidad por varias vías, su valor no depende solamente de los kilogramos que agrega sobre un año normal; también incluye los kilogramos, la calidad y los costos extraordinarios que ayuda a no perder.

EL SILICIO TIENE MÁS DE UNA OPORTUNIDAD DE PROTEGER EL RESULTADO: PUEDE SUMAR PRODUCCIÓN, PERO TAMBIÉN AYUDAR A CERRAR FUGAS DE RENTABILIDAD ANTES DE QUE LLEGUEN A COSECHA.

La conclusion productiva es directa: el silicio no crea agua, pero puede ayudar a que una mayor proporcion del potencial del girasol termine en semilla y aceite cuando el ambiente restringe el funcionamiento del cultivo. Las fuentes tradicionales han demostrado el valor agronomico del elemento. La evidencia con AOS agrega una evolucion tecnologica especialmente relevante: conseguir respuestas productivas con una fuente directamente disponible y con cantidades liquidas muy inferiores a las utilizadas por materiales siliceos tradicionales.

1. En girasol, la variable economica correcta es aceite por hectarea

En un cultivo destinado a aceite, evaluar una tecnologia solamente por toneladas de semilla por hectarea deja fuera una parte importante del resultado comercial. Un aumento de rendimiento puede perder valor si cae la materia grasa; de la misma forma, una mejora relativamente moderada en semilla puede transformarse en una respuesta economica mayor si ademas aumenta el porcentaje de aceite.

RENDIMIENTO DE SEMILLA x CONTENIDO DE ACEITE = ACEITE POR HECTAREA.

La propia experimentacion argentina muestra la magnitud de esta variacion. En Reconquista, INTA reporto para 2024/25 un rendimiento promedio de 3.052 kg/ha y un contenido medio de aceite de 50%, pero con hibridos que oscilaron entre 44% y 54% de materia grasa. En terminos simples, diez puntos porcentuales de diferencia en aceite pueden modificar fuertemente el valor industrial de un mismo volumen de cosecha. Por eso la Red INTA-ASAGIR presenta conjuntamente rendimiento y bonificacion por aceite, no como variables separadas sin relacion.

A partir del promedio de Reconquista, 3.052 kg/ha con 50% de aceite equivalen a aproximadamente 1.526 kg de aceite por hectarea antes de considerar eficiencia industrial. Ese calculo no reemplaza la liquidacion comercial, pero ayuda a entender por que el indicador aceite/ha es tan util para interpretar la respuesta de una tecnologia fisiologica.

La literatura argentina tambien demuestra que ambiente y temperatura modifican rendimiento y calidad de aceite. El trabajo de Pereyra-Irujo y Aguirrezabal, desarrollado desde la Unidad Integrada Balcarce, integro relaciones experimentales de rendimiento, porcentaje de aceite y composicion de acidos grasos y mostro que la variabilidad ambiental puede modificar simultaneamente cantidad y calidad. Para un productor, esto significa que proteger el cultivo frente al estres no es solo una cuestion de conservar kilos: tambien puede significar proteger la fraccion de esos kilos que termina convertida en aceite de valor.

2. Argentina: existe una brecha productiva real, no teorica

El estudio nacional de Rodriguez et al. (2024) cuantifico la brecha de rendimiento de girasol a escala argentina utilizando tres aproximaciones independientes al rendimiento potencial limitado por agua: simulacion con CROPGRO-Sunflower, ensayos comparativos de rendimiento y los mejores lotes de productores. Las tres metodologias convergieron en un mismo orden de magnitud: la brecha nacional fue de 34%, 40% y 34%, respectivamente.

Esa consistencia es importante. No estamos hablando de un potencial calculado desde un unico modelo. Ensayos, simulaciones y lotes comerciales indican que una fraccion sustantiva del rendimiento potencial limitado por agua no termina convertida en cosecha. Los autores identificaron factores de manejo asociados a brechas menores, entre ellos sistema de labranza, fertilizacion fosforada y adopcion de cultivares resistentes a herbicidas y alto oleico. La lectura para nuestra Coleccion es clara: el potencial productivo argentino responde al manejo, incluso cuando el techo ya esta condicionado por el agua disponible.

La campaña de Reconquista 2024/25 agrega una observacion practica. Las precipitaciones estuvieron por debajo del promedio historico durante buena parte del ciclo, pero las reservas de agua en profundidad permitieron una implantacion adecuada y un promedio de 3.052 kg/ha. La respuesta entre hibridos fue amplia: 2.185 a 3.863 kg/ha, junto con 44% a 54% de aceite. Esto refuerza dos

ideas utiles: el agua almacenada importa y el genotipo define cuanto de ese ambiente termina en semilla y materia grasa.

No necesitamos enseñarle al productor que el girasol tolera mejor ambientes restrictivos que otros cultivos estivales. Lo relevante para este documento es otra cosa: incluso en un cultivo adaptado al secano, hay una brecha considerable entre sobrevivir al deficit y convertir el agua disponible en rendimiento y aceite.

3. El costo del deficit puede ser mayor en aceite que en semilla

Una de las evidencias mas utiles para interpretar el girasol oleaginoso proviene de Seleiman et al. (2019). En dos temporadas de campo, el deficit severo redujo el rendimiento de semilla 53,5% respecto de la condicion bien abastecida, pero el rendimiento de aceite cayo 60,9% y el porcentaje de aceite disminuyo cerca de 18%. Es decir, el daño industrial fue mayor que la perdida expresada solamente como kilos de semilla.

El mismo patron aparece en otros ambientes. En Karaj, Iran, trece hibridos evaluados durante dos años bajo retiro de agua en la etapa reproductiva redujeron en promedio 30% el rendimiento, 22% el numero de granos por capitulo y 11% el peso de grano. Al mismo tiempo, el contenido de acido oleico disminuyo 11% (Ghaffari et al., 2023). El estres no afecto una sola variable: redujo la fabrica y modifico el producto.

En ambientes mediterraneos, un ensayo de dos años con 0%, 33%, 67% y 100% de la evapotranspiracion del cultivo mostro que el aumento de agua disponible favorecio rendimiento, sintesis de lipidos y aceite producido tanto en hibridos convencionales como alto oleico (Anastasi et al., 2010). La pertinencia para Argentina no esta en copiar el regimen de riego italiano, sino en confirmar una relacion fisiologica universal para el cultivo: cuando el agua limita durante la construccion del rendimiento, el impacto llega a semilla y aceite.

EN GIRASOL OLEAGINOSO, EL ESTRES PUEDE COSTAR DOS VECES: MENOS SEMILLA Y MENOS ACEITE DENTRO DE ESA SEMILLA.

4. La fisiologia que si importa: conservar funcion, no explicar botánica

La fisiologia relevante para este capitulo puede resumirse en tres procesos. Primero, mantener suficiente estado hidrico para que la hoja siga funcionando. Segundo, conservar area fotosintetica y capacidad de asimilacion mientras se define y llena el rendimiento. Tercero, evitar que el daño oxidativo y de membranas acelere la perdida de tejido funcional durante el estres.

Gunes, Pilbeam, Inal y Coban evaluaron doce cultivares de girasol bajo sequia con y sin Si. El Si contrarresto los efectos del deficit en seis de los doce cultivares y, en terminos generales, aumento el contenido relativo de agua, redujo peroxidacion lipidica, permeabilidad de membranas, peroxido de hidrogeno y prolina, y modifico la respuesta antioxidante. Lo importante no es memorizar cada

enzima: la evidencia muestra que el tejido tratado mantuvo mejor integridad bajo deficit, aunque con una respuesta dependiente del genotipo (Gunes et al., 2008).

En Brasil, equipos de la Universidade Federal de Goias y UNESP observaron que el Si foliar aumento el area foliar y, como consecuencia, la asimilacion total de CO2 por planta. En otro trabajo del mismo grupo, las plantas tratadas con Si registraron aumentos de 24% a 39% de biomasa total; estadisticamente, esa respuesta estuvo explicada por una mayor superficie fotosintetizante, no por un aumento artificial de la tasa fotosintetica de cada centimetro cuadrado (Peixoto et al., 2020).

Para el productor, la traduccion es sencilla: proteger area foliar util y mantener tejido funcional durante un periodo restrictivo aumenta la probabilidad de sostener el llenado y la acumulacion de aceite. Esa es la fisiologia que merece estar en el capitulo; el resto solo tiene valor si ayuda a explicar una respuesta productiva.

5. AOS en girasol: evidencia directa de dos campañas de campo

El trabajo de Ernst, Zapletalova y Cerny (2023), de la Slovak University of Agriculture in Nitra, es especialmente relevante porque evalua directamente una formulacion foliar basada en acido ortosilicico. Los ensayos se realizaron en 2018 y 2019 en Dolna Malanta, una zona agroclimatica definida por los autores como muy calida y seca, con cuatro hibridos de girasol y analisis estadistico multifactorial.

La formulacion Fertisilinn contenia AOS con 2,5% de Si y fue aplicada a 0,6 L/ha en BBCH 15 (6-8 hojas), BBCH 55 (inicio de floracion) o en ambos momentos. El estudio midio variables de construccion de rendimiento, rendimiento final, contenido de aceite y composicion de acidos grasos. El tratamiento tuvo efecto estadisticamente significativo sobre diametro y peso de capitulo, peso de mil aquenios, rendimiento, porcentaje de aceite y composicion de acidos grasos.

Tratamiento	Programa	Rendimiento	Aceite	Aceite/ha calculado*	Cambio aceite/ha
Control	Sin tratamiento	3,58 t/ha	44,65%	1,60 t/ha	-
AOS temprano	0,6 L/ha · 6-8 hojas	3,82 t/ha	46,20%	1,76 t/ha	+10,4%
AOS floracion	0,6 L/ha · inicio floracion	3,74 t/ha	45,80%	1,71 t/ha	+7,0%
AOS 2 aplicaciones	0,6 + 0,6 L/ha	4,01 t/ha	45,61%	1,83 t/ha	+14,4%

*Aceite/ha calculado por NewGreen a partir de las medias publicadas de rendimiento y contenido de aceite. No corresponde a una variable informada directamente por los autores.

La lectura agronomica es contundente. Una sola aplicacion temprana no solo aumento el rendimiento frente al testigo, sino que produjo el mayor contenido de aceite observado entre los tratamientos con AOS. El programa de dos aplicaciones alcanzo el mayor rendimiento de semilla y, al combinar rendimiento y materia grasa, produjo el mayor aceite calculado por hectarea.

La aplicacion temprana llevo el contenido de aceite desde 44,65% a 46,20%, una diferencia de 1,55 puntos porcentuales. El programa de dos aplicaciones elevo el rendimiento desde 3,58 a 4,01 t/ha, cerca de +12%. En aceite calculado por hectarea, la respuesta fue aun mayor: de aproximadamente 1,60 a 1,83 t/ha, cerca de +14,4%.

Este resultado merece peso propio dentro del capitulo porque demuestra una respuesta de campo con AOS en un cultivo oleaginoso, durante dos campañas, sobre las dos variables comerciales que mas nos interesan: rendimiento y aceite.

6. Lo que aporta el ensayo con AOS a la discusion de eficiencia

Las fuentes tradicionales de silicio han sido fundamentales para demostrar que el elemento tiene valor agronomico. Silicatos, silica gel y otras formas han producido respuestas positivas en girasol bajo diferentes condiciones. Ese cuerpo de evidencia no se contradice con el uso de AOS; al contrario, construye el fundamento sobre el que evolucionan las tecnologias mas eficientes.

El ensayo de Nitra agrega una pieza particularmente valiosa porque la respuesta se obtuvo con una formulacion foliar basada en AOS a 0,6 L/ha por aplicacion. En otros estudios positivos de girasol se utilizaron 150 g Si/ha como silicato foliar o 300 kg/ha de silica gel. No corresponde comparar directamente porcentajes entre ensayos realizados en ambientes, cultivares y diseños diferentes, pero la diferencia de escala de material aplicado ilustra por que la biodisponibilidad es una variable tecnologica relevante.

La forma soluble absorbible del Si es principalmente H4SiO4. Cuando una tecnologia entrega directamente AOS, el objetivo no es demostrar que los silicatos 'no funcionan'; los silicatos ya ayudaron a demostrar que el Si funciona. El objetivo es conseguir que una mayor fraccion del elemento este disponible para la planta con menor cantidad de material y mayor flexibilidad de uso foliar.

LAS FUENTES TRADICIONALES DEMOSTRARON EL VALOR DEL SILICIO. EL AOS REPRESENTA EL PASO HACIA UNA ENTREGA MAS DIRECTA Y EFICIENTE DEL ELEMENTO.

6.1. El momento de AOS cambia la forma de la respuesta

El ensayo de Nitra permite mirar algo que en muchos trabajos queda escondido por el promedio: el momento de aplicacion no produjo exactamente la misma combinacion de rendimiento y materia grasa. La aplicacion temprana, en 6-8 hojas, llevo el rendimiento desde 3,58 a 3,82 t/ha (+6,7%) y el aceite desde 44,65% a 46,20%, un aumento de 1,55 puntos porcentuales. Al combinar ambas variables, el aceite calculado por hectarea aumento aproximadamente 10,4%.

La aplicacion solamente al inicio de floracion tambien mantuvo una respuesta positiva: 3,74 t/ha, 45,80% de aceite y aproximadamente 1,71 t de aceite/ha. Su efecto productivo fue menor que el programa temprano, pero siguio en la misma direccion.

La estrategia de dos aplicaciones, en cambio, produjo el mayor rendimiento: 4,01 t/ha, aproximadamente +12% frente al testigo. Aunque el porcentaje de aceite (45,61%) fue algo menor que con la aplicacion temprana sola, la mayor cantidad de semilla llevo el aceite calculado a aproximadamente 1,83 t/ha, la respuesta economica mas alta de los tratamientos con AOS.

Programa AOS	Cambio semilla	Cambio aceite (%)	Cambio aceite/ha*	Lectura productiva
6-8 hojas	+6,7%	+1,55 puntos	+10,4%	Fuerte respuesta en materia grasa y aceite/ha.
Inicio floracion	+4,5%	+1,15 puntos	+7,0%	Respuesta positiva, de menor magnitud.
6-8 hojas + floracion	+12,0%	+0,96 puntos	+14,4%	Mayor aceite/ha por combinacion de semilla y materia grasa.

*Cambios calculados desde las medias publicadas por Ernst et al. (2023).

Este patron no prueba que un momento sea universalmente superior en todos los ambientes; demuestra algo mas util: una fuente basada en AOS puede modificar tanto la cantidad de semilla como la concentracion de aceite, y la mejor estrategia productiva puede depender de cual de esas dos variables sea el objetivo dominante.

Para la Coleccion, la conclusion es positiva y concreta. Una aplicacion temprana fue suficiente para mover significativamente la materia grasa; un programa fraccionado maximizo el aceite por hectarea. Es una evidencia directa de que el momento de disponibilidad del AOS puede cambiar la forma en que se expresa el beneficio.

EN UN CULTIVO OLEAGINOSO, LA MEJOR RESPUESTA NO ES NECESARIAMENTE EL MAYOR % DE ACEITE NI EL MAYOR RENDIMIENTO POR SEPARADO: ES LA COMBINACION QUE ENTREGA MAS ACEITE POR HECTAREA.

7. Dos campañas bajo deficit severo: el Si protegio semilla y aceite

Seleiman et al. (2019) realizaron dos temporadas de campo en Menoufia University, Egipto, con participacion de King Saud University, Al-Azhar University, Suez Canal University y Kafrelsheikh University. El diseño comparo tres niveles de agotamiento del agua disponible -50%, 70% y 90%- y cuatro estrategias: control, Si foliar, biochar y la combinacion de ambos.

El tratamiento de Si foliar utilizo K2Si3O7 a 150 g Si/ha en dos aplicaciones, 30 y 55 dias despues de siembra. Esto permite aislar el comportamiento del Si sin necesidad de atribuirle la respuesta del biochar o del tratamiento combinado.

Deficit severo	Control 2016	Si 2016	Control 2017	Si 2017	Respuesta aproximada
Rendimiento semilla	1.294,6 kg/ha	1.509,0 kg/ha	1.304,5 kg/ha	1.518,9 kg/ha	+16,5%

Deficit severo	Control 2016	Si 2016	Control 2017	Si 2017	Respuesta aproximada
Aceite	33,6%	35,8%	33,7%	35,8%	+2,1 a +2,2 puntos
Aceite/ha	435 kg/ha	540 kg/ha	439 kg/ha	543 kg/ha	+23,7 a +24,1%
Contenido relativo agua	45,03%	61,47%	46,53%	62,97%	+35 a +37% relativo
Acido oleico	60,5%	62,7%	60,7%	62,3%	Mejora bajo el mismo deficit

La importancia del resultado es mayor cuando se observa la jerarquia de las variables. Bajo deficit severo, el Si aumento el rendimiento de semilla cerca de 16,5%, pero el aumento del rendimiento de aceite fue de aproximadamente 24%. El beneficio industrial fue mayor que el cambio expresado solamente como grano.

El mismo ensayo reportó además, en el análisis general de las enmiendas, aumentos de 4,13% en porcentaje de aceite y 14,39% en rendimiento de aceite para el tratamiento con Si. Más importante para nuestro objetivo, las comparaciones dentro de cada nivel de déficit muestran directamente que la respuesta positiva se mantuvo bajo restricción moderada y severa.

Esta es exactamente la clase de evidencia que interesa para un sistema de secano: no se agrega agua al tratamiento estresado, pero una mayor proporcion del potencial existente termina convertida en semilla y aceite.

7.1. El Si fue positivo tanto con deficit moderado como severo

El ensayo de Menoufia permite ademas observar que la respuesta del Si no aparecio solamente cuando el cultivo estaba al limite. Bajo deficit moderado, la direccion de la respuesta fue positiva en ambas temporadas, aunque la magnitud cambio entre años. En 2016 el rendimiento paso de 2.574 a 2.661 kg/ha; en 2017, de 2.316 a 2.988 kg/ha. El rendimiento de aceite aumento de 1.052 a 1.128 kg/ha en 2016 y de 958 a 1.267 kg/ha en 2017.

Deficit moderado	Control	Si foliar	Cambio
Semilla 2016	2.574 kg/ha	2.661 kg/ha	+3,4%
Aceite/ha 2016	1.052 kg/ha	1.128 kg/ha	+7,2%
Semilla 2017	2.316 kg/ha	2.988 kg/ha	+29,0%
Aceite/ha 2017	958 kg/ha	1.267 kg/ha	+32,3%
RWC 2016	61,88%	69,29%	+12,0% relativo
RWC 2017	65,60%	73,17%	+11,5% relativo

La variacion entre campañas no debilita el resultado; muestra que el ambiente define cuanto potencial puede protegerse. Bajo la misma categoria experimental de deficit, la respuesta productiva fue moderada en una temporada y muy alta en la siguiente, mientras el contenido relativo de agua mejoro en ambas.

Cuando el estres aumento a la condicion severa, la respuesta siguio siendo positiva y se hizo especialmente visible en aceite por hectarea: aproximadamente +24% en ambas temporadas. Esto sugiere que el valor del Si puede expresarse a lo largo de un gradiente de restriccion, no solamente en un unico escenario de sequia extrema.

Para un sistema de secano argentino, esta es una observacion importante. Los lotes rara vez experimentan exactamente el mismo patron de deficit dos años consecutivos. Una herramienta fisiologica valiosa no necesita entregar un porcentaje fijo todos los años; necesita mostrar una direccion de respuesta coherente cuando cambia la intensidad y el momento del estres.

> LA MAGNITUD CAMBIO ENTRE AÑOS; LA DIRECCION PRODUCTIVA SE MANTUVO: MAS ESTADO HIDRICO, MAS SEMILLA Y MAS ACEITE CON Si.

8. Aceite y perfil graso: la proteccion no termina en el rendimiento

El valor industrial del girasol depende tambien del tipo de aceite producido. Temperatura, genotipo y disponibilidad hidrica pueden modificar la relacion oleico/linoleico y otros componentes. Argentina tiene una larga linea de investigacion sobre este punto desde Balcarce y otras regiones productoras, y la literatura internacional confirma que el ambiente de llenado altera la composicion final.

En el ensayo de Menoufia, el deficit severo redujo el acido oleico cerca de 25,8% respecto de la condicion bien abastecida. Bajo ese mismo deficit, el Si elevo el oleico desde 60,5% a 62,7% en 2016 y desde 60,7% a 62,3% en 2017. La recuperacion no elimina el efecto del estres, pero muestra que la respuesta del Si llega tambien a una variable de calidad del aceite.

En Karaj, el retiro de agua durante la etapa reproductiva redujo 30% el rendimiento y 11% el acido oleico promedio de trece hibridos. En ambientes mediterraneos, la disponibilidad de agua tambien modifica sintesis lipidica y composicion. Estos resultados explican por que en girasol no conviene evaluar una tecnologia fisiologica solo al final de la balanza: el valor puede estar repartido entre mas semilla, mayor materia grasa y mejor conservacion del perfil de aceite.

9. New Valley: dos campañas de campo con Si foliar, semilla y aceite

Abd El-Gwad y Salem (2013), del Desert Research Center de Egipto, realizaron dos experimentos de campo durante 2010 y 2011 en El-Kharga, New Valley, una zona caliente y seca. Utilizaron girasol cv. Sakha 53, cuatro repeticiones y concentraciones foliares de Si entre 0 y 1.000 mg/L, evaluadas tanto solas como en combinación con biofertilización. El diseño permite observar por separado la respuesta del Si foliar.

La respuesta fue progresiva y estadísticamente significativa. En los tratamientos sin biofertilización, aumentar el Si foliar desde 0 hasta 1.000 mg/L elevó el contenido de aceite desde 25,6% a 32,8% en 2010 y desde 29,2% a 33,3% en 2011. El rendimiento de aceite aumentó desde 310 a 422 kg/feddan en la primera temporada y desde 319 a 429 kg/feddan en la segunda, aproximadamente +36% y +34%, respectivamente (Abd El-Gwad & Salem, 2013).

Los autores observaron además aumentos significativos en diámetro de capítulo, peso de 100 semillas, rendimiento de semilla y rendimiento de aceite a medida que aumentó la concentración foliar de Si. La respuesta se repitió en ambas campañas y el análisis económico del estudio mostró una mejora de la relación de inversión al aumentar la dosis de Si.

Esta evidencia es particularmente útil porque agrega dos campañas independientes de campo en un ambiente desértico y con Si aplicado por vía foliar. Junto con Menoufia y Baghdad, refuerza una misma dirección productiva: distintas estrategias de entrega de Si pueden traducirse en más semilla y más aceite. Las fuentes tradicionales construyen esa evidencia; el AOS permite avanzar hacia una entrega mucho más eficiente del elemento.

10. University of Baghdad: Si foliar bajo intervalos crecientes de riego

Ahmed y Al-Tameemi (2025) evaluaron Si foliar en un suelo calcareo bajo distintos intervalos de riego. El ensayo fue realizado en campo por la University of Baghdad y combino tres niveles de Si con tratamientos de agua y acido abscisico.

Considerando el efecto principal del Si, la concentracion mas alta evaluada alcanzo 6,064 Mg/ha de semilla y fue superior al nivel sin Si. La respuesta estuvo acompañada por mayor concentracion de Si en hojas y cambios en prolina, catalasa, peroxidasa y ABA. Nuevamente, no necesitamos convertir el documento en una clase bioquimica: esas variables muestran que el tratamiento modifico la respuesta al estres y que el efecto llego finalmente al rendimiento.

El valor de este trabajo dentro de la Coleccion es la independencia institucional y ambiental. En otro pais, otro suelo y otro esquema de deficit, el Si foliar vuelve a aparecer asociado a mayor rendimiento y a una respuesta fisiologica coherente con proteccion frente a restriccion hidrica.

11. Evidencia convergente: agua, integridad del tejido y capacidad fotosintetica

Cuando se integran los trabajos de Ankara University, University of Leeds, Menoufia University, University of Baghdad, Universidade Federal de Goias y UNESP, aparece una convergencia clara: el Si ayuda al girasol a sostener mejor el funcionamiento del tejido bajo estres y a conservar una mayor capacidad de producir biomasa y rendimiento.

Los equipos de Ankara y Leeds demostraron en doce cultivares que el Si podia aumentar el contenido relativo de agua y disminuir daño de membranas y peroxidacion lipidica bajo sequia. Los equipos brasileños mostraron que el Si foliar aumenta area foliar y asimilacion total por planta, con incrementos de biomasa entre 24% y 39%. Menoufia conecto esa proteccion con semilla y aceite bajo deficit. Baghdad agrego una respuesta de rendimiento bajo intervalos crecientes de riego.

No son estudios identicos y no deben convertirse en una unica cifra promedio. Su fuerza esta en otra parte: instituciones diferentes, fuentes diferentes y ambientes diferentes llegan a respuestas compatibles sobre la misma cadena funcional.

LA EVIDENCIA CONVERGE: ESTADO HIDRICO + TEJIDO FUNCIONAL + CAPACIDAD FOTOSINTETICA + PROTECCION DEL LLENADO = MAYOR PROBABILIDAD DE CONSERVAR SEMILLA Y ACEITE.

12. Fuentes de silicio: una evolucion de eficiencia, no una discusion de 'sirve o no sirve'

La literatura de girasol incluye silica gel, silicatos potasicos, calcio-silicatos y formulaciones foliares basadas en AOS. La lectura correcta no es enfrentar unas fuentes contra otras como si los resultados positivos de una invalidaran a las demas. Cada grupo de trabajos ha contribuido a demostrar el valor agronomico del Si.

Los materiales tradicionales muestran que, aun cuando el Si debe solubilizarse antes de ser absorbido, el cultivo puede responder con mayor rendimiento, aceite o productividad del agua. Esa evidencia construyo el fundamento.

Las formulaciones mas biodisponibles introducen otra pregunta: ¿podemos conseguir la misma direccion de respuesta utilizando mucho menos material y entregando el Si en una forma directamente utilizable? El ensayo de Nitra responde positivamente a esa idea: AOS foliar, a 0,6 L/ha por aplicacion, produjo aumentos significativos en rendimiento y aceite durante dos campañas.

Por eso la frase central de la Coleccion sigue siendo valida en girasol:

> **NO SE TRATA DE APLICAR MAS SILICIO. SE TRATA DE UTILIZARLO DE MANERA MAS EFICIENTE.**

13. Matriz de evidencia productiva

Institucion / ambiente	Fuente de Si	Tipo de ensayo	Respuesta mas relevante	Lectura agronomica
Slovak University of Agriculture · 2 campañas · zona muy calida y seca	AOS foliar 2,5% Si	Campo · 4 hibridos	3,58 -> 4,01 t/ha; aceite calculado 1,60 -> 1,83 t/ha	Evidencia directa de AOS sobre rendimiento y aceite.
Menoufia University + universidades asociadas · 2 campañas	Silicato foliar · 150 g Si/ha	Campo · deficit moderado/severo	Bajo deficit severo: semilla +16,5%; aceite/ha ~+24%	Proteccion productiva fuerte bajo la misma restriccion hidrica.
Desert Research Center · New Valley · 2 campañas	Si foliar · 0-1.000 mg/L	Campo · ambiente caliente y seco	Si solo: aceite +7,2 y +4,1 puntos; aceite/ha aprox. +36% y +34%	Convergencia directa sobre semilla y aceite con aplicación foliar.
University of Baghdad	Si foliar	Campo · intervalos de riego	Mayor nivel de Si: 6,064 Mg/ha	Otra evidencia independiente de respuesta productiva.
Ankara University + University of Leeds · 12 cultivares	Si al suelo	Deficit controlado	Mayor RWC y menor daño de membranas en cultivares respondedores	Sustento fisiologico directo en girasol.
UFG + UNESP · Brasil	Si foliar	Ensayos fisiologicos/agronomicos	Area foliar +25%; biomasa total +24 a +39%	Convergencia sobre capacidad productiva y superficie fotosintetica.

La matriz no busca convertir ensayos distintos en una comparacion directa. Muestra algo mas importante: la respuesta del Si se repite en diferentes escalas, desde integridad fisiologica hasta rendimiento de semilla y aceite.

14. Protección multivía: el valor agronómico no termina en el rendimiento

Una de las principales diferencias entre el Si y una herramienta dirigida a un único blanco es la amplitud de procesos en los que puede participar. En girasol, la evidencia disponible conecta el Si con estado hídrico, integridad de membranas, sistema radical, superficie foliar funcional, producción de biomasa, componentes de rendimiento, contenido de aceite y defensas frente a daño biótico. No significa que el Si controle todos los problemas ni que sustituya automáticamente las herramientas específicas; significa que una misma intervención puede reducir vulnerabilidad en distintos puntos donde el cultivo puede perder potencial.

Desde el punto de vista productivo, esta transversalidad importa porque el rendimiento final es el resultado acumulado de una cadena. Una raíz comprometida reduce capacidad de sostener el cultivo; una hoja dañada pierde capacidad fotosintética; una floración afectada reduce destinos; un llenado restringido disminuye peso y aceite; y un daño biótico tardío puede obligar a una intervención no presupuestada. La utilidad del Si debe evaluarse sobre esa cadena completa, no solamente sobre una cifra aislada de rendimiento.

Zona o función	Fuga potencial de rendimiento	Qué aporta la evidencia de Si
Raíz y estado hídrico	Menor exploración y menor capacidad de sostener el cultivo bajo déficit.	En 12 cultivares de girasol, el Si mitigó daño por sequía en la mitad de los genotipos y mejoró RWC e integridad de membranas.
Hoja	Pérdida de superficie fotosintética por estrés o daño.	Trabajos brasileños muestran mayor área foliar, mayor asimilación total por planta y más biomasa con Si.
Floración y capítulo	Menos destinos fértiles y menor construcción de rendimiento.	Bajo estrés hídrico, los ensayos de Menoufia muestran que el Si conserva semilla y aceite frente al mismo déficit.
Semilla y aceite	Menor peso, materia grasa y aceite/ha.	AOS en dos campañas aumentó rendimiento y contenido de aceite; Si foliar bajo déficit elevó aceite/ha.
Presión biótica	Pérdida de área foliar o tejido productivo; posible gasto de rescate.	Existe evidencia directa en girasol de menor daño por herbivoría y menor severidad de algunas enfermedades bajo suplementación con Si.

NO SE TRATA DE QUE EL Si HAGA TODO. SE TRATA DE QUE UNA MISMA HERRAMIENTA PUEDE APORTAR EN VARIOS PUNTOS DE LA CADENA QUE TERMINA EN RENDIMIENTO Y ACEITE.

14.1. Evidencia directa en girasol frente a daño biótico

Assis, Moraes, Auad y Coelho (2013), trabajando con girasol y la oruga Chlosyne lacinia saundersii, evaluaron tratamientos con Si y daño mecánico inducido. La estrategia con Si redujo significativamente el porcentaje de hojas dañadas, el área foliar consumida y el peso de las orugas, y aumentó su mortalidad. Además, el contenido de Si de la planta se correlacionó negativamente con hojas dañadas, área consumida y peso larval.

El resultado es relevante por dos razones. Primero, demuestra en el propio girasol que el Si puede modificar la interacción planta-insecto y reducir la expresión del daño. Segundo, muestra que el

beneficio económico potencial no necesita aparecer como una mayor tasa de crecimiento: puede aparecer como superficie foliar que permanece disponible para producir.

En enfermedades, la investigación de Kamenidou (2009) en Oklahoma State University evaluó suplementación soluble de Si en girasol de invernadero. Frente a oídio, el Si redujo la severidad aproximadamente dos a tres veces después de dos semanas y mantuvo una reducción cercana a 1,5 veces después de tres semanas. En otro ensayo del mismo trabajo, el desarrollo de Botrytis cinerea se retrasó en girasol suplementado con Si. Estos estudios fueron realizados bajo condiciones protegidas y no equivalen a un ensayo de campo argentino, pero demuestran directamente que el girasol puede expresar una respuesta defensiva frente a patógenos cuando dispone de Si.

La interpretación correcta no es «el Si reemplaza un insecticida o fungicida». En manejo integrado, la pregunta es si una planta menos susceptible puede reducir la velocidad o la intensidad del daño lo suficiente como para conservar tejido, retrasar el cruce del umbral económico o disminuir la magnitud de una intervención de rescate. Cuando eso ocurre, el beneficio aparece simultáneamente como producción preservada y como costo contingente potencialmente evitado.

> UNA PLAGA O ENFERMEDAD NO NECESITA DESAPARECER PARA QUE EL Si TENGA VALOR ECONÓMICO. BASTA CON QUE EL DAÑO SE EXPRESE MENOS Y QUE UNA MAYOR PROPORCIÓN DEL POTENCIAL LLEGUE A COSECHA.

14.2. Sumar rendimiento y evitar perder son dos caras de la misma cuenta

En un ensayo de rendimiento es fácil ver el beneficio cuando el tratamiento termina por encima del testigo. En una campaña adversa, sin embargo, la misma ventaja puede expresarse como menor pérdida. Si un lote con determinado potencial enfrenta sequía, calor o presión biótica y el tratamiento conserva una fracción mayor de ese potencial, los kilogramos preservados tienen exactamente el mismo valor comercial que los kilogramos agregados en un año favorable.

Esta distinción es especialmente importante en girasol porque el estrés puede afectar más de una variable al mismo tiempo. En Menoufia, el déficit severo redujo más el rendimiento de aceite que el rendimiento de semilla. Con Si, la recuperación relativa del aceite/ha fue mayor que la respuesta en semilla. De esta forma, la protección económica no estaba solamente en «más grano», sino en conservar mejor el producto industrial que finalmente se comercializa.

La misma lógica se aplica a un imprevisto biótico. Si una presión tardía obliga a una aplicación de rescate, el costo económico combina producto, pasada y pérdida acumulada antes de controlar el problema. Si una planta fortalecida expresa menor daño y la presión permanece por debajo del umbral económico, el valor de la estrategia puede incluir el gasto de rescate que no fue necesario y el rendimiento que no se perdió. Este efecto debe plantearse como una posibilidad condicionada al monitoreo y al nivel real de presión, no como una eliminación garantizada de fitosanitarios.

EL VALOR AGRONÓMICO DEL Si = LO QUE AYUDA A PRODUCIR + LO QUE AYUDA A NO PERDER.

14.3. Cuando el problema es regional, los kilos protegidos pueden valer más

Existe además una dimensión de mercado que cobra importancia en eventos extendidos. Si una sequía o un problema productivo afecta simultáneamente una región relevante, la caída de oferta puede sostener o elevar los precios. En ese escenario, el productor que logró conservar una mayor proporción de su producción no sólo dispone de más volumen que un lote más afectado: ese volumen preservado puede tener un valor unitario superior al de una campaña normal.

El mercado internacional del girasol ofrece un ejemplo reciente. USDA informó que, después de malos rendimientos en grandes productores de la región del Mar Negro y una recuperación insuficiente de la oferta, el precio FOB del aceite de girasol promedió cerca de US$1.300/t entre septiembre de 2025 y marzo de 2026, frente a aproximadamente US$1.100/t en el mismo período del año anterior. La Bolsa de Comercio de Rosario también señaló que los problemas de oferta del Mar Negro contribuyeron a sostener buenos precios para el complejo girasol argentino durante la campaña 2025/26.

Este efecto no debe transformarse en una promesa de precio: depende de la escala del evento, stocks, comercio internacional, demanda, sustitutos, políticas y posición comercial del productor. Su importancia conceptual es otra: la protección productiva puede tener un valor anticíclico. Precisamente cuando un estrés generalizado reduce la producción de muchos competidores, los kilogramos que un productor consiguió preservar pueden volverse más valiosos.

EN UN AÑO NORMAL, PROTEGER UN KILOGRAMO TIENE UN VALOR. EN UN AÑO MALO PARA TODA LA REGIÓN, ESE MISMO KILOGRAMO PUEDE VALER MÁS.

La incorporación de la dimensión multivía no cambia la jerarquía de la evidencia; la completa. El argumento principal sigue siendo productivo: rendimiento, materia grasa, aceite/ha y estabilidad bajo restricción hídrica. La nueva evidencia biótica y la lectura económica permiten entender por qué el valor de una planta mejor preparada puede aparecer también como daño que no alcanzó a expresarse o como gasto inesperado que no llegó a ser necesario.

15. Interpretación para el girasol argentino de secano

La evidencia argentina define el problema: existe una brecha de rendimiento considerable respecto del potencial limitado por agua y existe una variacion muy amplia en materia grasa entre hibridos y ambientes. La evidencia internacional define la oportunidad: el Si puede ayudar a conservar parte de la productividad perdida cuando el agua restringe el funcionamiento del cultivo.

La extrapolacion correcta no es prometer que un lote argentino repetira exactamente +12%, +16% o +24%. La lectura correcta es que la respuesta se ha expresado en varios ambientes secos, en varias

fuentes de Si y sobre variables que el productor argentino realmente comercializa: semilla, materia grasa y aceite.

En un programa de campo, el indicador principal deberia ser aceite por hectarea. A ese indicador conviene acompañarlo con rendimiento de semilla, porcentaje de aceite, peso de mil aquenios y, si el destino comercial lo justifica, perfil de acidos grasos. Medir solamente biomasa o color de hoja puede ayudar a interpretar el mecanismo, pero no debe ser el criterio final de valor.

El lugar natural de una fuente eficiente de AOS es precisamente donde el cultivo tiene alto potencial pero enfrenta episodios de restriccion hidrica o termica capaces de reducir el llenado y la acumulacion de aceite. El objetivo no es reemplazar agua ni cambiar la genetica del hibrido. Es ayudar a que la planta convierta mejor el ambiente que efectivamente tiene.

15.1. Cómo capturar correctamente el valor en un ensayo argentino

La evidencia internacional ya muestra que una evaluacion de Si en girasol puede perder informacion importante si se mide solamente rendimiento de semilla. Para trasladar correctamente el conocimiento a un lote argentino, el ensayo debe capturar las variables que determinan el valor oleaginoso.

La primera es rendimiento de semilla corregido a una base de humedad definida. La segunda es porcentaje de aceite. La tercera, que integra las dos anteriores, es aceite por hectarea. Si el material es alto oleico o tiene un destino industrial especifico, conviene agregar composicion de acidos grasos. Peso de mil aquenios, numero de aquenios por capitulo y diametro de capitulo ayudan a interpretar de donde vino la diferencia productiva, pero no sustituyen aceite/ha.

La disponibilidad de agua tambien debe registrarse, no para convertir el ensayo comercial en un estudio academico, sino para poder interpretar por que una temporada respondio mas que otra. Agua util al inicio, lluvias durante el ciclo y ocurrencia de deficit alrededor de floracion y llenado permiten relacionar la respuesta con el ambiente real que enfrento el cultivo.

Variable	Por que medirla	Que responde
Rendimiento corregido	Cuantifica la respuesta comercial basica.	¿Hubo mas semilla por hectarea?
Materia grasa (%)	Detecta un beneficio que puede quedar oculto al mirar solo t/ha.	¿Cada kg de semilla contiene mas aceite?
Aceite/ha	Integra rendimiento y materia grasa.	¿Cuanto aceite adicional produjo realmente el lote?
Peso de mil aquenios / aquenios por capitulo	Explica el componente productivo que cambio.	¿La respuesta vino por numero, llenado o ambos?
Agua util y precipitaciones	Permite interpretar la intensidad del estres.	¿En que ambiente se expreso la respuesta?
Perfil oleico/linoleico, si aplica	Relaciona el tratamiento con calidad industrial.	¿Cambio el tipo de aceite producido?

Este enfoque evita dos errores frecuentes. El primero es descartar una tecnologia porque el aumento de semilla parecio pequeño cuando, en realidad, mejoro significativamente la materia grasa. El segundo es celebrar un cambio vegetativo sin comprobar que llego a cosecha. En girasol para aceite, la validacion debe terminar en una variable industrial.

La evidencia de AOS de Nitra demuestra por que esto importa: la aplicacion temprana aumento aceite/ha mas que lo que sugeria el aumento de rendimiento de semilla por si solo. La evidencia de

Menoufia muestra lo mismo desde el otro extremo: bajo estres severo, el beneficio sobre aceite/ha fue mayor que el beneficio sobre rendimiento de semilla.

SI EL PRODUCTOR COBRA POR SEMILLA Y ACEITE, EL ENSAYO DEBE MEDIR SEMILLA Y ACEITE. TODO LO DEMAS AYUDA A EXPLICAR EL RESULTADO.

16. Preguntas al asesor técnico

- ¿Qué gastos de rescate por insectos o enfermedades aparecen con mayor frecuencia en campañas adversas y cuánto cuestan realmente por hectárea?
- ¿Qué parte del programa actual corresponde a bioestimulación general o antiestrés y podría estar cumpliendo una función parcialmente redundante?
- ¿El productor comercializa anticipadamente gran parte de la cosecha o conserva exposición al precio, de modo que una escasez regional pueda cambiar el valor de los kilos protegidos?
- ¿El objetivo comercial del lote se evalua en kg de semilla, porcentaje de aceite o aceite por hectarea?
- ¿Cuanta agua util hay al inicio del ciclo y en que etapa suele aparecer la mayor restriccion?
- ¿El hibrido es convencional o alto oleico y cual es su comportamiento habitual de materia grasa en años secos?
- ¿La fuente de Si entrega el elemento directamente como AOS o depende de procesos previos de solubilizacion?
- ¿El programa de aplicacion coincide con momentos donde interesa sostener area foliar funcional, formacion de aquenios y llenado?
- ¿El ensayo comercial medira rendimiento corregido, materia grasa y aceite por hectarea, ademas de cualquier variable fisiologica?

17. Conclusión

A la evidencia de rendimiento y aceite se suma una dimensión que no debe perderse: el Si no tiene una sola oportunidad de proteger el margen. Puede aportar sobre agua, tejido funcional, estructuras productivas y respuesta frente a daño biótico. Esa transversalidad no elimina la necesidad de monitoreo ni sustituye automáticamente herramientas específicas, pero aumenta las vías por las que una misma intervención puede conservar potencial productivo.

En términos económicos, el valor no se limita a «cuánto rindió de más». También incluye cuánto dejó de perderse, qué gastos contingentes pudieron reducirse y, en eventos regionales, cuánto puede valer el producto preservado cuando la oferta se contrae. La estabilidad productiva es parte de la rentabilidad.

El girasol argentino se produce en una amplia diversidad de ambientes de secano y presenta una brecha nacional de 34% a 40% respecto del rendimiento potencial limitado por agua. En ese contexto,

proteger rendimiento sin considerar materia grasa es una mirada incompleta: el producto economico final es aceite.

La evidencia cientifica muestra que el Si puede intervenir en esa ecuacion. En Menoufia, dos campañas bajo deficit severo mostraron aproximadamente +16,5% de semilla y +24% de aceite por hectarea con Si foliar. En New Valley, dos campañas de campo mostraron aumentos significativos de semilla y aceite con Si foliar. Baghdad aporta otra evidencia de campo de respuesta productiva. Ankara, Leeds, UFG y UNESP explican por que esa respuesta tiene sentido fisiologico: mayor conservacion del estado hidrico, menor daño de membranas y mayor capacidad fotosintetizante.

La evidencia con AOS merece una posicion especial. En una zona muy calida y seca, la Slovak University of Agriculture evaluo durante dos campañas una formulacion foliar basada en acido ortosilicico. Una sola aplicacion temprana elevo el aceite desde 44,65% a 46,20%. Dos aplicaciones elevaron el rendimiento desde 3,58 a 4,01 t/ha y, calculado desde las medias publicadas, el aceite por hectarea desde aproximadamente 1,60 a 1,83 t/ha.

Las fuentes tradicionales demostraron que el silicio funciona en girasol. El AOS agrega la posibilidad de entregar el elemento de forma mas directa y eficiente. Para un cultivo oleaginoso de secano, esa evolucion tiene un objetivo muy concreto: que una mayor proporcion del agua, radiacion y potencial genetico disponible termine convertida en semilla comercial y aceite.

FORTALECER LA FISIOLOGIA NO ES EL OBJETIVO FINAL. EL OBJETIVO ES PROTEGER CUANTO DEL POTENCIAL DEL LOTE TERMINA CONVERTIDO EN ACEITE POR HECTAREA.

Bibliografia

Rodriguez, I. M., Hall, A. J., Monzon, J. P., Mercau, J. L., Gayo, S., Lopez Pereira, M., Cerrudo, A., Urcola, H. A., Troglia, C. B., Zuil, S., Paolini, M., Martini, G., & Cipriotti, P. A. (2024). Sunflower yield gaps and their causes in Argentina. Field Crops Research, 315, 109480. DOI: 10.1016/j.fcr.2024.109480. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109480

Sandoval, M. N. (2025). Ensayos comparativos de rendimiento de girasol. Campaña 2024/25 en Santa Fe. Voces y Ecos, 26(51), 8-11. INTA EEA Reconquista. http://hdl.handle.net/20.500.12123/23852

Pereyra-Irujo, G. A., & Aguirrezabal, L. A. N. (2007). Sunflower yield and oil quality interactions and variability: Analysis through a simple simulation model. Agricultural and Forest Meteorology, 143(3-4), 252-265. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.01.001. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.001

Ernst, D., Zapletalova, A., & Cerny, I. (2023). Effect of growing factors on production and fatty acid composition of sunflower achenes. Acta fytotechnica et zootechnica, 26(3), 305-313. DOI: 10.15414/afz.2023.26.03.305-313. https://doi.org/10.15414/afz.2023.26.03.305-313

Seleiman, M. F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S., & Hafez, E. M. (2019). Integrative Effects of Rice-Straw Biochar and Silicon on Oil and Seed Quality, Yield and Physiological Traits of Helianthus annuus L. Grown under Water Deficit Stress. Agronomy, 9(10), 637. DOI: 10.3390/agronomy9100637. https://doi.org/10.3390/agronomy9100637

Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Rauf, S., & Shariati, F. (2023). Drought-stress induced changes of fatty acid composition affecting sunflower grain yield and oil quality. Food Science & Nutrition, 11, 7718-7731. DOI: 10.1002/fsn3.3690. https://doi.org/10.1002/fsn3.3690

Anastasi, U., Santonoceto, C., Giuffre, A. M., Sortino, O., Gresta, F., & Abbate, V. (2010). Yield performance and grain lipid composition of standard and oleic sunflower as affected by water supply. Field Crops Research, 119(1), 145-153. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.07.001. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.001

Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A., & Coban, S. (2008). Influence of Silicon on Sunflower Cultivars under Drought Stress, I: Growth, Antioxidant Mechanisms, and Lipid Peroxidation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(13-14), 1885-1903. DOI: 10.1080/00103620802134651. https://doi.org/10.1080/00103620802134651

Peixoto, M. M., Flores, R. A., Couto, C. A., Pacheco, H. D. N., Prado, R. M., Souza-Junior, J. P., Castro-Netto, J. A., & Graciano-Ribeiro, D. (2020). Silicon Application Increases Biomass Yield in Sunflower by Improving the Photosynthesizing Leaf Area. Silicon. DOI: 10.1007/s12633-020-00818-2. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00818-2

Flores, R. A., Arruda, E. M., Souza Junior, J. P., Prado, R. M., Santos, A. C. A., Aragao, A. S., Pedreira, N. G., & Costa, C. F. (2019). Nutrition and production of Helianthus annuus in a function of application of leaf silicon. Journal of Plant Nutrition, 42(2), 137-144. DOI: 10.1080/01904167.2018.1549678. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549678

Ahmed, F. W., & Al-Tameemi, A. J. H. (2025). Effect of Silicon and Abscisic Acid Spray on Growth, Yield and Quality of Sunflower under Different Irrigation Periods. Agricultural Science Digest, 45(2), 207-214. DOI: 10.18805/ag.DF-648. https://doi.org/10.18805/ag.DF-648

Abd El-Gwad, A. M., & Salem, E. M. M. (2013). Effect of Biofertilization and Silicon Foliar Application on Productivity of Sunflower (Helianthus annuus L.) under New Valley Conditions. Egyptian Journal of Soil Science, 53(4), 509-536.

Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S., & Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. Rhizosphere, 4, 54-61. DOI: 10.1016/j.rhisph.2017.06.002. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.06.002

Assis, F. A., Moraes, J. C., Auad, A. M., & Coelho, M. (2013). The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly Chlosyne lacinia

saundersii (Nymphalidae). International Journal of Pest Management, 59(2), 128-134. DOI: 10.1080/09670874.2013.779049. https://doi.org/10.1080/09670874.2013.779049

Kamenidou, S. (2009). Soluble Silicon-Based Disease Management of Floricultural Crops. Ph.D. Dissertation, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma. 88 pp.

Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Role of Silicon on Plant-Pathogen Interactions. Frontiers in Plant Science, 8, 701. DOI: 10.3389/fpls.2017.00701. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701

USDA Foreign Agricultural Service. (2026). Oilseeds: World Markets and Trade. April 2026. Argentina Sunflowerseed Harvest Bolsters 2025/26 Global Supply. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf

Rodríguez Zurro, T., Terré, E., & Calzada, J. (2026). Oferta y uso regional de Girasol 2025/26 en Argentina. Bolsa de Comercio de Rosario, Informativo Semanal, 16 de enero de 2026. https://www.bcr.com.ar/