





Producción de girasol (*Helianthus annuus* L.) con aplicación foliar de tierra diatomea

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) production with diatoms foliar application

Yurixhi Atenea Raya-Montaño¹ , Maricela Apáez-Barrios² , Ma. Blanca Nieves Lara-Chávez¹ 
y Patricio Apáez-Barrios^{2*} 

¹Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Paseo Lázaro Cárdenas, esquina con Berlín, Colonia Viveros, 60170, Uruapan, Michoacán, México.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Prolongación de la calle Mariano Jiménez S/N, Colonia El Varillero, 60670, Apatzingán de la Constitución, Michoacán, México.

*Autor para correspondencia: patricio.apaez@umich.mx

Fecha de recepción:

17 de diciembre de 2020

Fecha de aceptación:

29 de septiembre de 2021

Disponible en línea:

8 de junio de 2022

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercia-

CompartirIgual 4.0

Internacional

RESUMEN

En México, en 47% de la superficie de cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.), el rendimiento de grano es menor a 1.0 t ha⁻¹. La tendencia de la agricultura es buscar alternativas de origen natural y amigables con el ambiente para incrementar el rendimiento agrícola. Por esta razón, en este estudio se estableció girasol cv. Victoria aceitero para determinar el efecto de la dosis (0.5, 1 y 1.5%) e intervalo (7, 14 y 21 días) de aplicación foliar de tierra diatomea sobre la producción de materia seca y rendimiento de grano de girasol. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones en arreglo de parcelas divididas. La dosis de 1.0% cada 7 días generó el más alto rendimiento de grano (2,047 kg ha⁻¹), seguido de esta misma dosis cada 14 días (1,715 kg ha⁻¹), lo cual produjo la mayor cantidad de materia seca (1,219 g m⁻²).

PALABRAS CLAVE

Fertilización foliar, materia seca, rendimiento de grano, silicio.

ABSTRACT

In Mexico, in 47% of the cultivated area of sunflower (*Helianthus annuus* L.), the grain yield is less than 1.0 t ha⁻¹. The tendency of agriculture is to look for natural and environmentally friendly alternatives to increase agricultural yield. In this study, sunflower cv. Victoria aceitero was used to determine the dose effect (0.5, 1 and 1.5 %) and the interval (7, 14 and 21 days) of foliar application of diatom earth on dry matter production and sunflower grain yield. The experimental design included randomized complete blocks with four repetitions in a split-plot arrangement. The 1.0% dose applied every 7 days generated the highest grain yield (2047 kg ha⁻¹), followed by this same dose every 14 days (1715 kg ha⁻¹), which produced the highest amount of dry matter (1,209 g m⁻²).

KEYWORDS

Foliar fertilization, dry matter, grain yield, silicon.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial por volumen de producción, con 54.9 millones de toneladas de grano, producidos principalmente en Ucrania, Rusia y Argentina (FAO 2020). Se cultiva para la producción de semillas, las cuales se consumen como botana, o se utilizan para la elaboración de ensaladas y como materia prima de productos para la panificación; sin embargo, su uso principal es la producción de aceite para consumo humano o la fabricación de biodiesel (Guo et al. 2017; Castro y Leite 2018). El girasol se encuentra entre las oleaginosas más importantes del mundo, junto con la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), la soya [*Glicine max* (L.) Merr.] y la colza (*Brassica napus* L.) (USDA 2020).

La producción de girasol en México sólo cubre 7.5% del requerimiento nacional; el resto se importa de Argentina, Estados Unidos y España (SAGARPA 2017). Por ello, es necesario incrementar la superficie de cultivo y también el rendimiento de grano, que en México, en 47% de la superficie de cultivo es menor a 1.0 t ha⁻¹ (SIAP 2020). Esto hace necesario buscar alternativas para incrementar el rendimiento, como pueden ser incluir en la nutrición elementos como el silicio (Si).

Al respecto, el Si se considera un elemento no esencial en la nutrición de las plantas, y sólo en algunos cultivos se ha reconocido como un nutrimento funcional (Coskun et al. 2019). La aplicación de este elemento puede favorecer el crecimiento y el rendimiento agrícola, en condiciones de estrés biótico y abiótico (Coskun et al. 2016; García-Ramos et al. 2018; Liang et al. 2015a). Asimismo, se ha registrado que el Si presenta efecto sinérgico en la planta sobre la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio; además, favorece la translocación de nutrientes dentro de la planta (Pati et al. 2016; Rezakhani et al. 2019). A pesar de estos beneficios, en la actualidad se desconoce qué plantas se benefician más con la aplicación de silicio, cuáles son las dosis más apropiadas, así como el número de aplicaciones y el intervalo más adecuado (Rodrigues et al. 2011).

El Si es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno; sin embargo, la mayoría de las fuentes se presentan como alumi-

nosilicatos cristalizados que son insolubles (Liang et al. 2015b). Como fuentes de silicio, en la agricultura se han utilizado principalmente subproductos industriales y materiales extraídos de minas, que pueden ser inadecuadas, debido al elevado contenido de metales pesados (Castro et al. 2016; Liang et al. 2015b). En este sentido, la tierra diatomea —rocas sedimentarias silíceas formadas por microfósiles de diatomeas acuáticas con alta permeabilidad y porosidad— resulta útil para mejorar las propiedades del suelo y se ha utilizado como fertilizante aplicado al suelo, sobre todo en cereales (Liang et al. 2015a).

Al ser una fuente importante de Si (Sandhya et al. 2018), la tierra diatomea podría aplicarse de forma foliar a menores dosis (Henk-Maar 2018). Los estudios de aplicación foliar de tierra diatomea como fuente de silicio en cultivos como el girasol son escasos. El objetivo del presente fue determinar el efecto de la dosis e intervalo de aplicación foliar de tierra diatomea sobre la producción de materia seca, el rendimiento de grano y los componentes del rendimiento de girasol aceitero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio se estableció bajo condiciones de temporal y riego rodado en Uruapan, Michoacán, México, localizado en el eje Neovolcánico a 19° 25' 16" LN y 102° 03' 47" LO a 1,620 msnm. El clima es (A)C(w₂) (w), semicálido húmedo con lluvias en verano, con humedad ambiental de 58%. La temperatura máxima media anual es de 26 °C y la mínima de 8.1 °C, con precipitación pluvial media anual de 1,400 mm (García 2004).

Establecimiento del experimento

El 4 de octubre del 2019 se sembró girasol cv. Victoria aceitero, a una distancia entre plantas (sitio) de 0.50 m y entre surcos de 0.8 m, dos plantas por sitio (50,000 plantas ha⁻¹). Previamente, se llevó a cabo la preparación del terreno con un barbecho, dos pasos de rastra y surcado a 80 cm entre surcos.

El suelo de 0 a 30 cm de profundidad presenta textura migajón arcilloso, densidad aparente de 1.14 g cm⁻³, pH de 5.13, conductividad eléctrica de 0.16 mmhos cm⁻¹, con 4.8% de materia orgánica y contenido (mg kg⁻¹) de 19.50 (N- NO₃), 2.13 (P-Bray), 160 (K), 140 (Ca), 600 (Mn), 49.48 (SO₄²⁻), 7.25 (Fe), 73.93 (Al) y C.I.C. de 17.81 meq 100 g⁻¹.

Fertilización y aplicación de riegos

Se fertilizó con 80 kg de nitrógeno (N) y 80 kg de P₂O₅. Como fuente se utilizó urea (46 N) y fosfato diamónico (18 N - 46 P₂O₅). Todo el P₂O₅ y la mitad de N se aplicaron al momento de la siembra y el resto de N se suministró 30 días después de la siembra.

Una parte del requerimiento hídrico del cultivo fue cubierto por la precipitación pluvial y el resto con la aplicación de riego rodado que se inició a partir del 15 de noviembre; en total, se realizaron cuatro riegos con intervalos entre ellos de 15 días; en cada riego se aplicó una lámina de 75 mm. Se procuró tener siempre el suelo a capacidad de campo.

Registro elementos del clima y fenología

Durante el desarrollo del cultivo se registraron las temperaturas máximas y mínimas (promedio decenal), y la precipitación pluvial (suma decenal), durante el ciclo del cultivo, las cuales fueron tomadas de la estación agrometeorológica del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. En el cultivo, se registró el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, que fueron: días a emergencia, a floración y a madurez fisiológica, de acuerdo con los criterios presentados en Schneiter y Miller (1981).

Tratamientos en estudio y diseño experimental

Fueron evaluadas tres dosis de tierras diatomea: 0.5%, 1.0% y 1.5% v/v (D_{0.5}, D_{1.0} y D_{1.5}, respectivamente) y tres intervalos de aplicación: 7, 14 y 21 días (I₇, I₁₄ y I₂₁, respectivamente). Se hicieron cuatro aplicaciones en cada intervalo, las cuales se iniciaron a los 7 días después de la emergencia (dde). Esto generó diez tratamientos: D_{0.5}-I₇, D_{0.5}-I₁₄, D_{0.5}-I₂₁, D_{1.0}-I₇, D_{1.0}-I₁₄, D_{1.0}-I₂₁, D_{1.5}-I₇, D_{1.5}-I₁₄, D_{1.5}-I₂₁ y D₀-I₀ (testigo), que se distribuyeron en campo en un diseño experimental de bloques completos

al azar con cuatro repeticiones en arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande fue la dosis y la parcela chica fue el intervalo de aplicación. La unidad experimental estuvo formada por tres surcos de cuatro metros de longitud.

Se utilizó tierra diatomea compuesta (%) por 90.8 (SiO₂), 0.27 (TiO₂), 5.2 (Al₂O₃), 0.02 (MnO), 0.52 (MgO), 0.42 (CaO), 0.36 (Na₂O), 0.26 (K₂O) y 0.04 (P₂O₅). Las aplicaciones se realizaron por la mañana hasta punto de goteo, con una bomba manual (425015 15 L/SWISSMEX®, Lagos de Moreno, México), con 15 litros de capacidad, equipada con una boquilla de cono hueco. Las plantas del testigo se asperjaron únicamente con agua.

Variables de respuestas

A la madurez fisiológica (120 dds), se cortaron las plantas de la parcela útil de cada unidad experimental, y se separaron las hojas, tallos y capítulos, los cuales se secaron a 70 °C en una estufa (FE-291/FELISA®, Zapopan, México) de circulación de aire forzado, hasta peso constante. Posteriormente, fueron pesados por separado los órganos; con esto se obtuvo el peso seco de hojas, tallos, receptáculo (capítulo sin granos) y granos, así como la biomasa total (suma de todos los órganos); los datos se expresaron en g m⁻². Además, se determinó el rendimiento de grano (kg ha⁻¹), el peso de 100 granos (g), el número de granos por m² y el índice de cosecha (rendimiento de grano/biomasa total).

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS, versión 9.4 (SAS 2017). A las variables con diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos del clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo, las temperaturas máximas decenales variaron entre 26.9 °C y 29 °C, mientras que las temperaturas mínimas decenales fueron de 14.2 a

19.7 °C. Las temperaturas más altas se presentaron en las primeras etapas de crecimiento del cultivo y posteriormente tendieron a disminuir, conforme avanzó el ciclo del cultivo. Las temperaturas registradas están dentro del rango considerado apropiado para el cultivo de girasol, de acuerdo con Kalyar et al. (2014). La precipitación pluvial total fue de 85 mm, de la cual, 82% ocurrió en las primeras etapas del crecimiento del cultivo (Figura 1), posteriormente se suministraron 300 mm con riego rodado.

Respecto a la ocurrencia de las etapas fenológicas en el sitio de estudio, la emergencia se presentó 7 días después de la siembra; la floración ocurrió a los 61 días y la madurez fisiológica a los 105 días (Figura 1). Al respecto, Arenas-Julio et al. (2021), en girasol variedad Victoria, cultivado en clima BS1, encontraron que la emergencia ocurrió también 7 días después de la siembra, pero la floración se presentó a los 65 días y la madurez fisiológica a los 130 días, diferencias que se atribuyen a menores temperaturas ocurridas, en comparación con las registradas en el presente estudio.

Materia seca

La mayoría de las combinaciones evaluadas de dosis e intervalo de aplicación foliar de tierra diatomea

mejoraron la producción de materia seca (biomasa total) del girasol. Las plantas que mostraron incrementos estadísticos significativos en materia seca respecto al testigo fueron a las que se aplicó 0.5% de tierra diatomea a intervalos de 7 y 21 días; con estos tratamientos se registraron aumentos en la materia seca de hoja, tallo, receptáculo y grano, en comparación con las plantas sin aplicación (Figura 2).

Con el suministro de 1.5% cada 21 días también se logró incrementar la materia seca, lo que resultó en aumentos en el peso de hoja, tallo, receptáculo y grano, en comparación con el testigo. Sin embargo, los mayores aumentos de materia seca se registraron en las plantas con la dosis de 1.0% cada 7 y 14 días, que superaron a la producción de las plantas sin aplicación en 49 y 58%, respectivamente (Figura 2); con estos tratamientos se lograron también los mayores incrementos en la producción de materia seca en grano, y algunos de los más altos en hoja (Cuadro 1).

Es importante destacar que, a pesar de que con la aplicación de 1.5% de tierra diatomea suministrada cada 7 y 14 días no aumentó de manera significativa la materia seca total, estos tratamientos favorecieron el porcentaje del peso que representa el grano en relación con el peso total de la planta: 19% de la materia seca total, valor superior a lo registrado

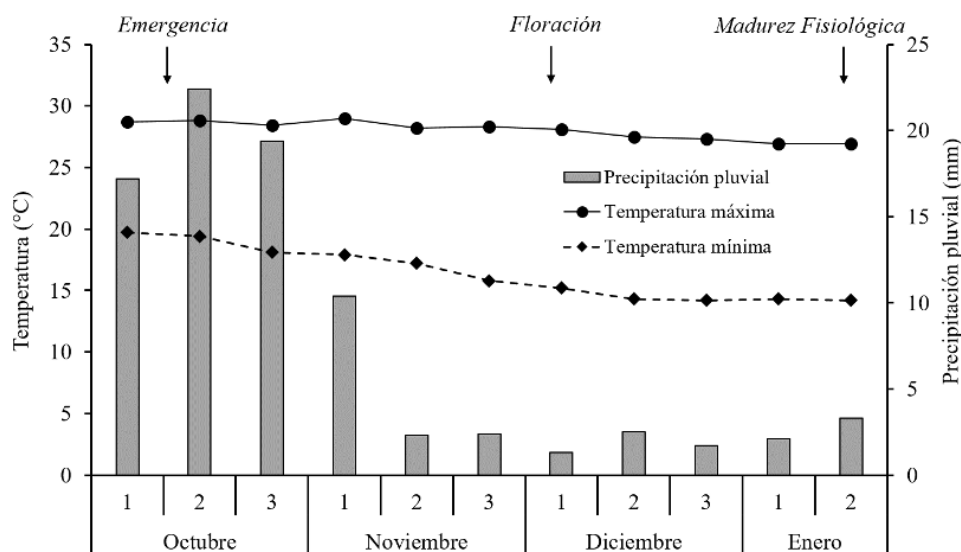


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación pluvial (suma decenal) durante el ciclo del cultivo de girasol.

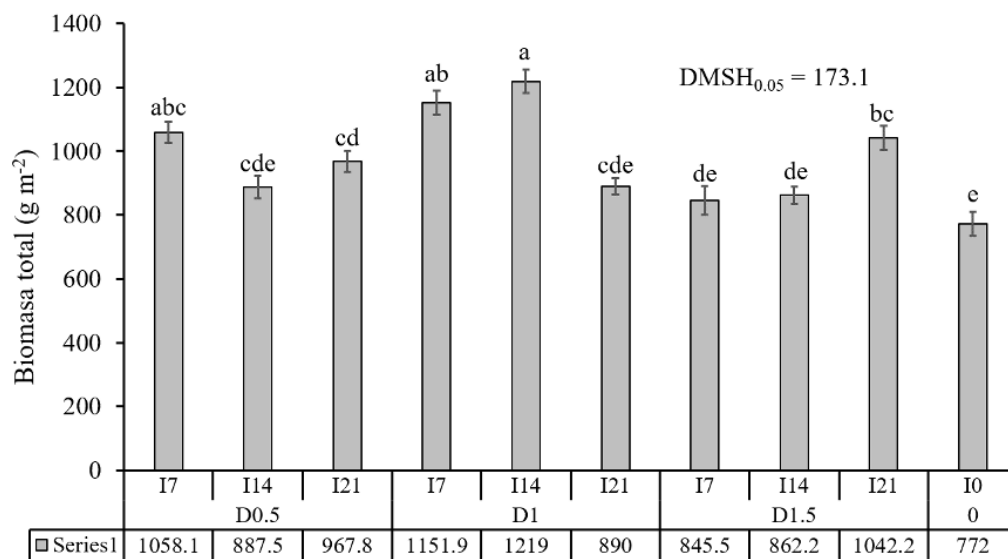


Figura 2. Biomasa total del girasol en función de la dosis e intervalo de aplicación de tierra diatomea. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta a 5% de probabilidad del error. I = intervalo de aplicación en días, D = dosis (%).

en las plantas del testigo y de los otros tratamientos. Esto fue en detrimento del porcentaje de materia seca acumulada en tallos, que se redujo de 10 a 15% en comparación con las plantas del tratamiento testigo sin aplicación (Cuadro 1). Este resultado se relaciona con lo indicado por Coskun et al. (2016), quienes señalan que el Si favorece la movilización de fitoasimilados de los órganos vegetativos a los reproductivos, lo cual tiene como resultado el incremento en la proporción de materia seca en órganos reproductivos, como ocurrió en el presente estudio, principalmente con el suministro de 1.5% de tierra diatomea cada 7 y 14 días; cabe señalar que también con otros intervalos y dosis de aplicación de tierra diatomea se registró aumento en el porcentaje de materia seca de granos (Cuadro 1). En general, se encontró un efecto positivo en la aplicación de tierra diatomea sobre la producción de materia seca total de girasol. Esta respuesta positiva en el incremento en materia seca también se ha encontrado con la aplicación de Si al suelo, como silicato de calcio y magnesio, en algunas variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (De Camargo et al. 2019). En relación con el uso de tierra diatomea, su aplicación en suelo alcalino mejoró la producción de materia seca en arroz (*Oryza sativa* L.) (Sandhya et al. 2018). Esto demuestra la efectividad de la tierra diatomea como fuente de Si para mejorar variables productivas de los cultivos. En cuanto a la aplicación foliar de Si, además de la tierra diatomea, también se

han probado otras fuentes, como el silicato de sodio y silicato de potasio en girasol híbrido Altis 99, bajo condiciones de invernadero (Flores et al. 2019), aunque en estos casos el incremento en materia seca fue menor en comparación con lo logrado en el presente estudio. Esto comprueba la mayor efectividad de la aplicación foliar de tierra diatomea en el cultivo de girasol.

Rendimiento de grano y componentes del rendimiento

Con la mayoría de las combinaciones de dosis * intervalo de aplicación de tierra diatomea, las plantas de girasol —al igual que en materia seca— también incrementaron de manera significativa el rendimiento de grano.

La dosis de 1.0% de tierra diatomea aplicada cada 7 días generó el más alto rendimiento de grano, el cual representó un incremento de 83% respecto al testigo; esto atribuido a un mayor número y peso de granos. Con esta misma dosis, pero suministrada a intervalos de 14 días, se aumentó el rendimiento de grano en 56%; seguida por la dosis de 1.5%, suministrada cada 7 y 14 días, que superó a las plantas sin aplicación en 43 y 44%, respectivamente; con estas dos últimas combinaciones se lograron los valores más altos en el índice de cosecha y peso de 100 granos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Nivel de significancia y prueba de comparación de medias de la materia seca en hojas, tallos, receptáculos y grano de girasol en función de la dosis e intervalo de aplicación de tierra diatomea.

Dosis %	Intervalo días	Materia seca			
		Hoja	Tallo	Receptáculo	Grano
		----- g m ⁻² -----			
0.5	7	134.1 bcd [¶]	593.9 bc	175.3 ab	154.8 bcd
	14	131.7 bcd	491.3 cde	141.4 cd	123.1 cde
	21	126.4 cd	574.8 bcd	148.4 bcd	118.2 de
1.0	7	147.5 abc	614.1 b	185.7 a	204.7 a
	14	158.8 ab	733.6 a	152.3 bcd	174.4 ab
	21	132.6 bcd	449.0 e	156.9 abcd	151.5 bcd
1.5	7	137.2 bc	380.6 e	166.9 abc	160.8 bc
	14	148.60 abc	414.9 e	138.5 cd	160.2 bc
0	21	170.2 a	589.3 bc	133.4 d	149.3 bcde
	0	107.1 de	461.3 de	92.0 d	111.7 e
Probabilidad de F		**	**	**	**
DMSH _{0.05}		29.7	118.2	32.4	38.6
Coeficiente de variación %		8.2	7.9	8.4	10.5

¶= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** $p \leq 0.01$. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta.

El efecto del silicio sobre el rendimiento agronómico varía ampliamente y depende del tipo de cultivo, fuente de silicio, forma de aplicación, condiciones ambientales, así como de las características físico-químicas del suelo (De Camargo et al. 2019; Flores et al. 2019; Oliveira et al. 2013; Sandhya et al. 2018), y, de acuerdo con los resultados del presente estudio, también depende de la dosis y el intervalo de aplicación. En el uso de tierra diatomea aplicada de forma foliar en el girasol, se encontró que la respuesta no fue proporcional a la dosis ni al intervalo, pues con la aplicación de la dosis media (1.0%) a intervalos de 7 y 14 días, se generó el más alto rendimiento de grano y producción de materia seca total. Estos resultados son similares a los encontrados en girasol ornamental, con aplicación al suelo de silicato de calcio, en donde la mayor respuesta productiva de la planta se logró con la dosis intermedia de 4.1 g por planta (Oliveira et al. 2013). Cabe destacar que, en este cultivo, la parte de mayor interés económico es el grano, aunque para algunos productores es importante tener una adecuada producción de materia seca en hojas, para utilizarla como forraje después de cosechar los capítulos, lo

que se favorece también con la aplicación de tierra diatomea.

Con 1.5% de tierra diatomea a intervalos de 14 días se presentó la mayor acumulación de materia seca hacia el grano, por registrar los valores más altos de índice de cosecha. Lo anterior puede atribuirse a que el Si tiene la capacidad de actuar como un factor de señalización que redirige el metabolismo primario de plantas, y provocar movilización de fotoasimilados y aminoácidos de tejidos vegetativos a granos; dicho efecto es de reciente investigación (Coskun et al. 2016).

En general, en el presente estudio, con la mayoría de las combinaciones de dosis e intervalos de aplicación de tierra diatomea se mejora la respuesta productiva del girasol. Asimismo, también en otros cultivos se han encontrado resultados positivos. En arroz con aplicación foliar de Si como ácido silícico se registraron incrementos significativos en el rendimiento de grano, y lo atribuyen a que el Si reduce el estrés biótico y abiótico; también mejora el crecimiento de la planta, lo que puede deberse al incremento en la eficiencia fotosintética (Prakash et al. 2011). Otra forma en la que beneficia el Si al cultivo es que aumenta la absorción

Cuadro 2. Nivel de significancia y prueba de comparación de medias del rendimiento de grano (RG), índice de cosecha (IC), peso de 100 granos (P100G) y número de granos (NG) de girasol en función de la dosis e intervalo de aplicación de tierra diatomea.

Dosis	Intervalo	RG	IC	P100G	NG
%	días	kg ha ⁻¹		g	No./m ²
0.5	7	1,547.7 bcd [¶]	0.146 abc	4.544 ab	3,095.3 bcd
	14	1,230.8 cde	0.138 cd	2.800 c	2,461.5 cde
	21	1,182.2 de	0.123 d	4.375 ab	2,364.4 de
1.0	7	2,046.6 a	0.178 a	5.525 a	4,093.1 a
	14	1,743.8 ab	0.143 cd	3.775 bc	3,487.5 ab
	21	1,514.6 bcd	0.170 abc	2.744 c	3,029.2 bcd
1.5	7	1,607.8 bc	0.190 a	4.275 ab	3,215.6 bc
	14	1,602.0 bc	0.186 a	4.600 ab	3,204.1 bc
	21	1,493.1 bcde	0.144 bcd	3.500 bc	2,986.3 bcde
0	0	1,116.6 e	0.145 bcd	3.750 bc	2,233.1 e
Probabilidad de F		**	**	**	**
DMSH _{0.05}		386.2	0.033	1.282	772.4
Coeficiente de variación %		10.52	9.08	13.2	10.52

[¶]= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). ** $p \leq 0.01$; DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta.

de N, P y K (Pati et al. 2016); de hecho, también se ha encontrado que incrementa la absorción de S, Ca, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl y Fe, es decir, se mejora la nutrición de la planta (Greger et al. 2018).

De acuerdo con Coskun et al. (2016), el aumento en el rendimiento agronómico también puede atribuirse a que el Si tiene la capacidad de alterar las relaciones fuente-demanda e incrementa la conductancia del mesofilo.

A pesar de que la mayoría de los estudios de Si se han realizado en gramíneas (Liang et al. 2015a), cultivos como el girasol responden positivamente a la aplicación de este elemento, como lo comprobamos en el presente estudio, con la mayoría de las combinaciones de dosis e intervalos de aplicación de tierra diatomea vía foliar, lo cual es similar a lo encontrado por Flores et al. (2019) en girasol, pero con aplicación foliar de silicato de sodio y silicato de potasio, y también concuerda con Oliveira et al. (2013), en girasol ornamental, con aplicación al suelo de escoria industrial como fuente de Si.

Con los resultados del presente estudio se genera un antecedente para futuras investigaciones sobre los mecanismos que influyen en la respuesta positiva de

Si aplicado vía foliar (como tierra diatomea) sobre la respuesta productiva de cultivos como el girasol. Además, estos resultados pueden utilizarse para apoyar a los productores en la obtención de mejores rendimientos de girasol y en el incremento de la producción, lo cual es necesario para reducir las importaciones de esta oleaginosa y fomentar la soberanía alimentaria de México.

CONCLUSIONES

La mayoría de las combinaciones evaluadas de dosis e intervalos de aplicación de tierra diatomea mejoraron la producción de materia seca en los órganos de la planta, el rendimiento de grano y los componentes del rendimiento en el cultivo de girasol. El suministro foliar de tierra diatomea a la dosis de 1.0% aplicado cada 7 días generó el más alto rendimiento de grano (2,047 t ha⁻¹), por incremento en el número y peso de granos, y aumento en el índice de cosecha. Con la dosis de 1.0% cada 14 días se logró uno de los más altos valores en rendimiento de grano (1,715 kg ha⁻¹) y la mayor producción de materia seca total (1,219 g m⁻²).

LITERATURA CITADA

- Arenas-Julio YR, Escalante-Estrada JA, Ortiz-Solorio CA, Volke-Haller VH, González-Rodríguez MT, y Aguilar-Carpio C. 2021. Producción de girasol en función del tipo de suelo, nitrógeno y densidad de población. *Acta Agrícola y Pecuaria* 7: 0071008. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071008>
- Castro CD Leite RMVBC. 2018. Main aspects of sunflower production in Brazil. *OCL* 25: D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017056>
- Castro GSA, Crusciol CAC, Da Costa CHM, Ferrari Neto J Mancuso MAC. 2016. Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16: 362-379. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000034>
- Coskun D, Britto DT, Huynh WQ, Kronzucker HJ. 2016. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science* 7: 1072. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072>
- Coskun D, Deshmukh R, Sonah H, Menzies JG, Reynolds O, Feng MJ, Kronzucker HJ Bélanger RR. 2019. The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist* 221: 67-85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
- De Camargo MS, Bezerra BKL, Holanda LA, Oliveira AL, Vitti AC Silva MA. 2019. Silicon fertilization improves physiological responses in sugarcane cultivars grown under water deficit. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 19: 81-91. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0012-1>
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. [internet]. 2020. Cultivos y productos de ganadería. [citado 2021 agosto 22]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flores RA, Arruda EM, De Souza JP, Prado RM, Dos Santos ACA, Aragão AS, Pedreira NG Da Costa CF. 2019. Nutrition and production of *Helianthus annuus* in a function of application of leaf silicon. *Journal of Plant Nutrition* 42: 137-144. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549678>
- García E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- García-Ramos Y, Galindo-Tovar ME, Murguía-González J, Landero-Torres I Leyva-Ovalle OR. 2018. Fertilización complementada con sílice en la resistencia del tomate a *Fusarium oxysporum* Schtdl. *Agronomía Mesoamericana* 29: 41-52. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27002>
- Greger M, Landberg T Vaculík M. 2018. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *Plants* 7: 41. <https://doi.org/10.3390/plants7020041>
- Guo S, Ge Y Jom KN. 2017. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal* 11: 95. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0328-7>
- Henk-Maar L. 2018. The effects of foliar sprays with different silicon compounds. *Plants* 7: 45. <https://doi.org/10.3390/plants7020045>
- Kalyar T, Rauf S, Teixeira Da Silva JA Shahzad M. 2014. Handling sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under heat stress. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60: 655-672. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.799276>
- Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H Song A. 2015a. Effect of silicon on crop growth, yield and quality. En: Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H Song A, editores. *Silicon in Agriculture, from Theory to Practice*. Berlín, Springer. P. 209-223.
- Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H Song A. 2015b. *Silicon in Agriculture, from Theory to Practice*. Springer. Berlín, Alemania.
- Oliveira JTL, Campos VB, Chaves LHG Guedes-Filho DH. 2013. Silicon fertilization on growth of ornamental sunflower cultivars. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 123-128. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200002>
- Pati S, Pal B, Badole S, Hazra GC Mandal B. 2016. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47: 284-290. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1122797>
- Prakash NB, Chandrashekar N, Mahendra C, Patil SU, Thippeshappa GN Laane HM. 2011. Effect of foliar spray of soluble silicic acid on growth and yield parameters of wetland rice in hilly and coastal zone soils of Karnataka, South India. *Journal of Plant Nutrition* 34: 1883-1893. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.600414>
- Rezakhani L, Motesharezadeh B, Tehrani MM, Etesami H Hosseini HM. 2019. Phosphate-solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus

- (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 173: 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.060>
- Rodrigues FDA, Oliveira LD, Korndörfer AP, Korndörfer GH. 2011. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações Agronômicas* 134: 14-20.
- [SAGARPA] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [internet]. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. [citado 2020 abril 22]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256431/B_sico-Oleaginosas-par-te_una.pdf
- Sandhya K, Prakash NB, Meunier JD. 2018. Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18: 344-360. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005001201>
- [SAS] Statistical Analysis Systems. 2017. SAS/STAT User's guide, version 9.4. SAS Institute Inc. North Carolina, USA.
- Schneiter AA, Miller JF. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science* 21: 901-903. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060024x>
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [internet]. 2020. Cierre de la producción agrícola 2019. [citado 2020 mayo 15]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- [USDA] United States Department of Agriculture. [internet]. 2020. Oilseeds: World market and trade. [citado 2020 abril 02]. Disponible en: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>