

EFECTO DEL NITRÓGENO Y AZUFRE SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL GRANO DE GIRASOL

Estudiante: Ing. Agr. Sergio Tovar Hernández

Director: Ing. Agr. (Dr.) Reussi Calvo, Nahuel.

Co-Director: Ing. Agr. (M. Sc., Dr.) Izquierdo, Natalia.

Palabras clave: proteína, fertilización fraccionada, ácidos grasos, aceite.

1. Introducción

El principal destino del grano de girasol (*Helianthus annuus*) es la producción de aceite. En la campaña 2017/18, en Argentina, se produjeron alrededor de 1 millón de toneladas de aceite de las cuales se exportaron 625 mil, representando así, una participación en el mercado global del 6,7% (Bolsa de Cereales, 2019). Para la campaña 2019/20 se estima que la demanda de aceite de girasol sobrepasará la oferta (Calzada y Rozadilla, 2019).

La calidad del aceite de girasol depende de la proporción de ácidos grasos principalmente, el oleico, linoleico, esteárico y palmítico (Flagella et al., 2002). Altas concentraciones de ácido oleico son valorizadas por la industria debido su baja susceptibilidad a la oxidación y mejor palatabilidad (Martinez et al., 2015). De igual manera, el ácido linoleico es esencial para los humanos (Anastasis y Cammrata, 2000; Ostlund, 2007). Por el contrario, altas concentraciones de ácidos grasos saturados, como el ácido palmítico, están relacionados con efectos negativos en la salud humana (Broughton et al., 2018). En el aceite de girasol, los ácidos oleico y linoleico, pueden representar hasta un 90% del total de ácidos grasos, lo cual representa una ventaja con respecto a otros tipos de aceites vegetales (Izquierdo y Aguirrezábal, 2008). En la actualidad existen híbridos de girasol con distinta concentración de ácidos grasos: los híbridos convencionales (concentración ácido oleico hasta 54,9%), los medio oleico (concentración de ácido oleico del 55-74,9%), los alto oleico (concentración de ácido oleico mayores al 75%) y los alto esteárico-alto oleico (concentración de ácido oleico del 60% y de ácido esteárico mayor del 15%), entre otros (Fernandez-Martinez et al., 1989; Triboï-Blondel et al., 2000; Zheljzakov et al., 2011, Secretaría de Agricultura, 2018). Los híbridos alto oleico son los más apetecidos por el mercado y tienen la facultad de ser más estables a efectos del ambiente en su composición ácida (Izquierdo et al., 2002; Izquierdo y Aguirrezabal, 2008; Angeloni et al., 2017).

La composición ácida está ampliamente influenciada por características genéticas del híbrido y por las condiciones ambientales (Santalla et al., 1993; Izquierdo y Aguirrezábal, 2010). El factor más importante a la hora de definir la concentración de ácidos grasos es la temperatura (Izquierdo et al., 2002; Echarte et al., 2010). No obstante, lograr una alta intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y mantenerla el mayor tiempo posible en el ciclo del cultivo es fundamental. Una alta PAR interceptada, aumenta la relación fuente-destino, lo que afectaría el nivel de saturación de las enzimas claves en la síntesis de ácidos grasos. Aumentos en el suministro de carbono, afecta positivamente la síntesis de ácido oleico (Izquierdo y Aguirrezabal, 2008). La disponibilidad de nutrientes en el suelo es un factor que podría incidir en la composición ácida del grano de girasol. No obstante, son escasos los trabajos sobre dicha temática y los resultados suelen ser contradictorios (Steer y Seiler, 1990; Shekhawat y Shivay, 2008; Zhelijzakov et al 2009; Mohammadi et al., 2013).

En la actualidad, la brecha de rendimiento del cultivo de girasol se estima en un 40% (Hall et al., 2012), por lo cual, en este contexto, la fertilización podría ser una alternativa para reducir las mismas (Sosa et al., 1999; Hall et al., 2012; Rodríguez et al., 2019a; Rodríguez, et al., 2019b). El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento y calidad del grano de girasol (Diovisalvi et al., 2018). Este elemento es componente fundamental de la molécula de clorofila, jugando un rol importante en la fotosíntesis y la eficiencia de la intercepción y uso de la radiación solar (Sadras y Trapani 1999; Škarpa y Lošák, 2008; Echeverria y Sainz Rozas, 2014). Bange et al. (1997) determinaron que altos niveles de fertilización nitrogenada ayudan a lograr una alta PAR interceptada y a que ésta se mantenga por más tiempo durante las etapas críticas. Sin embargo, existen evidencias de que fertilizaciones nitrogenadas aumentan el porcentaje de proteína y disminuyen el porcentaje de aceite en grano (Zurbriski y Moraghan 1983; Mohammadi et al., 2013; Schultz et al., 2018). Contrariamente, para condiciones del Sudeste Bonaerense (SEB), Diovisalvi et al. (2018) reportaron aumentos en el rendimiento y en el porcentaje de proteína en grano sin

disminución en el porcentaje de aceite. No obstante, son escasos los registros de trabajos que evalúen el efecto de la fertilización con N sobre la composición ácida del grano de girasol.

Un manejo eficiente de la fertilización nitrogenada es importante para lograr producciones económicamente viables y disminuir el potencial impacto ambiental negativo de dicha práctica (Malhi, et al., 2001; Barbieri et al., 2008). Respecto al momento de fertilización, para el cultivo de girasol, Steer y Seiler (1990) reportaron que fertilizaciones pre-antesis incrementaron el rendimiento, la concentración de ácido linoleico y disminuyeron la concentración de ácido oleico, fertilizaciones post-antesis tuvieron un efecto inverso en la composición ácida del grano. Por otra parte, el fraccionamiento de la dosis de N también podría modificar la composición ácida del grano debido al efecto de dicha práctica sobre la PAR. En este sentido, Arregui y Quemada (2008) y Velasco et al. (2012) reportaron aumentos significativos rendimiento y contenido de proteína en trigo (*Triticum sp*) al aplicar el N en forma fraccionada. Resultados similares se han reportado en maíz (*Zea Mays*) (Worku, et al., 2007; Barbieri et al., 2008; Mueller, et al., 2017). No obstante, es escasa la información sobre el efecto del fraccionamiento de la dosis de N sobre el rendimiento y calidad del girasol.

Al igual que el N, el azufre (S) es de suma importancia para las plantas, por ser constituyente de aminoácidos, vitaminas y de enzimas reguladoras de la fotosíntesis (Fazli et al., 2008; Echeverria et al., 2014). Niveles adecuados de S en los cultivos, aumentan la PAR interceptada, el porcentaje de proteína en grano y el rendimiento (Whatley, 1971; Walker y Booth, 2003). Se ha reportado que la adición de S en el cultivos de girasol bajo condiciones tropicales y con suelos de bajo contenido de materia orgánica (MO), tiene efecto positivo en el rendimiento y la concentración de aceite y ácido oleico (Shekhawat y Shivay, 2008; Usha et al., 2009). No obstante, en condiciones del SEB no se ha evaluado el efecto del S sobre los componentes del rendimiento y calidad del girasol.

Por lo tanto, para el cultivo de girasol creciendo bajo diferentes condiciones edafoclimáticas del SEB se plantean las siguientes hipótesis y objetivos:

Hipótesis

- i) El incremento en la disponibilidad de N aumenta: a) el rendimiento, b) la concentración de proteína y c) la concentración de ácido oleico siendo este efecto más pronunciado en genotipos convencionales, sin cambios en la concentración de aceite.
- ii) El efecto del N sobre: a) el rendimiento, b) la concentración de proteína y c) la concentración de ácido oleico, se ve incrementado por el fraccionamiento de la dosis de N.
- iii) El incremento en la disponibilidad de S aumenta la concentración de: a) proteína b) aceite y c) ácido oleico.

Objetivos

- i) Evaluar cómo influye la disponibilidad de N sobre el rendimiento y sus componentes y calidad del grano de girasol en genotipos alto oleico y convencionales.
- ii) Evaluar el efecto del fraccionamiento de la dosis de N sobre el rendimiento y calidad de girasol.
- iii) Evaluar el efecto de S sobre la calidad del grano de girasol.

2. Materiales y Métodos

El proyecto de investigación se realizará con base a 2 experimentos llevados a cabo en la campaña 2018/19.

- **Experimento A:** El experimento A se llevó a cabo en la estación experimental del INTA-Balcarce. Los tratamientos consistieron en un testigo (0N) y cuatro dosis de N (40, 80, 120, y 160 kg N ha⁻¹) aplicadas en el estadio fenológico V₂ (Schneiter y Miller 1981). A su vez, en el tratamiento 80N se realizó sin (0S) y con la aplicación de S (20 kg S ha⁻¹). Adicionalmente, la dosis de 80 kg N ha⁻¹ se aplicó en el estadio fenológico V₁₄ (Schneiter y Miller 1981), y de forma fraccionada en partes iguales entre V₂ y V₁₄. La fuente de N fue urea granulada (46-0-0) aplicada al voleo en cobertura total, mientras que la fuente de S fue yeso (18% S). El diseño fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 6 surcos por 12 metros de profundidad. Adicionalmente, a todos los tratamientos se les aplicó a la siembra una dosis de 30 kg ha⁻¹ de fósforo para que no limite el crecimiento y desarrollo. Los tratamientos fueron evaluados en dos genotipos convencionales y dos alto oleico.
- **Experimento B:** Este experimento se llevó a cabo en cuatro localidades del SEB. Los tratamientos en cada localidad consistieron en un testigo (0N) y dos dosis de N (40 y 80 kg N ha⁻¹) sin y con la aplicación de S (0 y 20 kg S ha⁻¹, respectivamente). La fertilización se realizó en el estadio fenológico V₂, siendo la fuente de N urea granulada (46-0-0) aplicada al voleo en cobertura total, mientras que la fuente de S fue yeso (18% S). El diseño se realizó en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 6 surcos por 12 metros de profundidad. Adicionalmente, a todos los tratamientos se le aplicó a la siembra una dosis de 30 kg ha⁻¹ de fósforo para que no limite el crecimiento y desarrollo. Los tratamientos se evaluaron sobre distintos genotipos (convencionales y alto oleico).

Determinaciones en suelo:

Previo a la implantación del cultivo, se tomaron muestras de suelo (25-30 sub-muestras) por bloque en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. A cada muestra, se le realizó la determinación de materia orgánica, pH (1:2,5), P Bray y Nan en superficie (0-20 cm), mientras que humedad, N-NO₃⁻ y S-SO₄⁻², se determinó hasta los 60cm de profundidad.

Determinaciones en planta:

En madurez fisiológica se cosecharon los capítulos en 10 m² de los 2 o 3 surcos centrales de cada parcela. Se desgranaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el contenido de humedad (%) y el rendimiento, expresado al 11%. Se determinará el peso de mil granos y el número de granos por m². La concentración de proteína y aceite en grano se determinará por NIR y por un equipo de resonancia magnética-nuclear (NMR, Spinlock S.R.L.) respectivamente (Diovisalvi et al., 2018). La composición acídica del grano se determinará mediante la obtención de ésteres metílicos de ácidos grasos y medición de los mismos por cromatografía gaseosa (Shimadzu GC-2014).

Análisis de datos:

Las diferencias entre tratamientos sobre las variables rendimiento, concentración de proteína, aceite y ácidos grasos serán evaluadas mediante análisis de la varianza (ANOVA) con el software R-Project. Las diferencias entre medias de tratamiento serán evaluadas usando Test de DMS (p<0.05). Además, algunas variables serán evaluadas por regresión.

3. Cronograma

ACTIVIDAD	MES																					
	2019											2020										
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Actividades académicas de posgrado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cosecha	X	X																				
Análisis de laboratorio grano			X	X	X	X	X	X	X	X												
Análisis de datos									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Redacción de tesis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Redacción de trabajos científicos														X	X	X	X	X	X	X	X	X

4. Significado de la investigación

El resultado de esta investigación permitirá evaluar el impacto de la fertilización con N y S sobre el rendimiento y la calidad del grano de girasol. Esto podría ayudar a reducir la brecha de rendimiento, sin afectar negativamente los componentes de calidad del grano, logrando así, que el cultivo sea más competitivo dentro de los sistemas actuales de producción.

5. Facilidades disponible

La investigación se pudo llevar a cabo en el campo experimental de INTA-Balcarce y en lotes comerciales de distintos productores que pusieron a disposición sus establecimientos e infraestructura. Se hará uso de laboratorios y equipos de la Unidad Integrada Balcarce (FCA-UNMDP y EEA INTA Balcarce).

6. Bibliografía

- ARREGUI, L., & QUEMADA, M. (2008). Strategies to Improve Nitrogen Use Efficiency in Winter Cereal Crops under Rainfed Conditions. *Agronomy Journal*, 100, 277-284.
- ANASTASIS, U., CAMMRATA, M. A, ABBATE, V (2000). Yield Potential and Oil Quality of Sunflower (Oleic and Standard) Grown Between Autumn and Summer. *Italian Journal of Agronomy*, 23-36.
- ANGELONI, P., ECHARTE, M., PEREYRA, G., IZQUIERDO, N., & AGUIRREZABAL, L. (2017). Fatty acid composition of high oleic sunflower hybrids in a changing environment. *Field Crops Research*, 202, 146-157.
- BANGE, M., HAMMER, G., & RICKERT, K. (1997). Environmental control of potential yield of sunflower in the subtropics. *Australian Journal of Agricultural* , 48, 231-240.
- BARBIERI, P. A., ECHEVERRÍA, H. E., SAÍNZ ROZAS, H. R., & ANDRADE, F. H. (2008). Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal*, 100(4), 1094-1100.
- BARBIERI, P., SAINZ ROZAS, H., & ECHEVERRIA, H. (2008). Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 849-857.
- BOLSA DE CEREALES. (2019). Panorama Agrícola Semanal 28 de marzo 2019. Buenos Aires: Bolsa de cereales, departamento de estimaciones agrícolas

- BROUGHTON, R., RUÍZ-LOPEZ, N., HASSALL, K. L., MARTÍNEZ-FORCE, E., GARCÉS, R., SALAS, J. J., & BEAUDOIN, F. (2018). New insights in the composition of wax and sterol esters in common and mutant sunflower oils revealed by ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 269, 70-79.
- CALZADA, J., & ROZADILLA, B. (2019). Girasol: un cultivo que hay que cuidar y fomentar. Rosario : Bolsa de Comercio de Rosario.
- DIOVISALVI, N. R., IZQUIERDO, N., ECHEVERRIA, H., DIVITO, G., & GARCIA, F. (2018). Effects of Genotype and Nitrogen Availability on Grain Yield and Quality in Sunflower. *Soil Fertility and Crop Nutrition*, 110, 1535-1543.
- ECHARTE, M., ANGELONI, P., JAIMES, FLORENCIA, TOGNETTI, J., IZQUIERDO, N., AGUIRREZÁBAL, L. (2010). Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil. *Field Crops Research*, 119, 27-35.
- ECHEVERRIA, H., REUSSI CALVO, N., & PAGANI, A. (2014). Azufre. En H. Echeverria, & F. Garcia, *Fertilidad de suelos y fertilizacion de cultivos* (págs. 287-312). Buenos Aires: INTA.
- FERNANDEZ-MARTINEZ, J., JIMENEZ, A., DOMINGUEZ, J., GARCIA, J., GARCES, R., & MANCHA, M. (1989). Genetic analysis of the high oleic acid content in cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Euphytica*, 41, 39-51.
- FAZLI, S., JAMAL, A., AHMAD, S., MASOODI, M., KHAN, J., & ABDIN, M. (2008). Interactive effect of sulphur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. *Plant Nutrition*, 31, 1203-1220.
- FLAGELLA, Z., ROTUNNO, T., TARANTINO, E., DI CATERINA, R., & DE CARO, A. (2002). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 17, 221–230.
- HALL, A., FEOLI, C., BALZARINI, & M. (2012). Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. *Field Crops Research*, 119-129.
- IZQUIERDO, N., & AGUIRREZABAL, L. (2008). Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. *Field Crops Research*, 106, 116-125.
- IZQUIERDO, N., & AGUIRREZÁBAL, L. (2010). Recientes avances de la ecofisiología de la calidad de aceites. Su aplicación al manejo de cultivos para obtener aceites de alta calidad. 1-23.
- IZQUIERDO, N., AGUIRREZABAL, L., ANDRADE, F., & PEREYRA, V. (2002). Night temperature affects fatty acid composition in sunflower oil depending on the hybrid and the phenological stage. *Field Crops Research*, 77, 115-126.
- MALHI, S., GRANT, C., JOHNSTON, A. M., & GILL, K. S. (2001). Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: A review. *Soil Tillage Res*, 60, 101-122.
- MARTINEZ-FORCE, E., DUNFORT, N.T, & SALAS, J.JM (Eds) (2015). *Sunflower, Chemistry, Production, Processing and Utilization*. Beltsville: AOCS Press. Elsevier.
- MOHAMMADI, K., HEIDARI, G., JAVAHERI, M., ROKHZADI, A., NEZHAD, M. T. K., SOHRABI, Y., & TALEBI, R. (2013). Fertilization affects the agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in different tillage systems. *Industrial crops and products*, 44, 446-451.
- MUELLER, S., CAMBERATO, J., MESSINA, C., SHANAHAN, J., ZHANG, H., & VYN, T. (2017). Late-Split Nitrogen Applications Increased Maize Plant Nitrogen Recovery but not Yield under Moderate to High Nitrogen Rates. *Agronomy Journal*, 109, 2689-2699.
- OSTLUND, R. (2007). Phytosterols, Cholesterol Absorption and Healthy Diets. *Lipids*, 42(1), 41-45.
- RODRÍGUEZ, I. M., ARAMBURU MERLOS, F., MONZON, J. P., CIPRIOTTI, P. A., HALL, A. J., GRASSINI, P., & MERCAU, J. L. (2019). Avances en la determinación de las causas de las brechas de rendimiento de Girasol en Argentina. *ASAGIR*, 1-3.

- RODRÍGUEZ, I. M., MONZON, J. P., CIPRIOTTI, P. A., HALL, A. J., ARAMBURU MERLOS, F., IZQUIERDO, N., GRASSINI, P., MERCAU, J. L. (2019). Rendimiento potencial de girasol en Balcarce. ASAGIR, 1-3.
- SADRAS, V., & TRAPANI, N. (1999). Leaf expansion and phenologic development: key determinants of sunflower plasticity, growth and yield. *Physiological control of growth and yield in field crops*, 205-232.
- SANTALLA, E., RICCOBENE, I., & NOLASCO, S. (1993). Composición de semillas de girasol cultivadas en Argentina. *Grasas y aceites*, 175-178.
- SCHULTZ, E., DESUTTER, T., SHARMA, L., ENDRES, G., ASHLEY, R., BU, H., ... & FRANZEN, D. (2018). Response of sunflower to nitrogen and phosphorus in North Dakota. *Agronomy Journal*, 110(2), 685-695.
- STEER, B., & SEILER, G. (1990). Changes in Fatty Acid Composition of Sunflower (*Helianthus annuus*) Seeds in Response to Time of Nitrogen Application, Supply Rates and Defoliation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51; 11-26.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, G. y. (2018). *Código Alimentario Argentino*. 1-20.
- SCHNEITER, A. AND MILLER, J.F. (1981) Description of Sunflower Growth Stages. *Crop Science*, 21, 901-903.
- SHEKHAWAT, K., & SHIVAY, Y. (2008). Effect of nitrogen sources, sulphur and boron levels on productivity, nutrient uptake and quality of sunflower (*Helianthus annuus*). *Indian Journal of Agronomy*, 53, 129-134.
- ŠKARPA, P., & LOŠÁK, T. (2008). Changes in Selected Production Parameters and Fatty Acid Composition on Sunflower in Response to Nitrogen and Phosphorus Applications. *ACTA UNIVERSITATIS AGRICULTURAE ET SILVICULTURAE MENDELIANAE BRUNENSIS SBORNÍK MENDELOVY ZEMĚDĚLSKÉ A LESNICKÉ UNIVERZITY V BRNĚ*, 27, 203-210.
- SOSA, L., ECHEVERRIA, H., DOSIO, G., & AGUIRREZABAL, L. (1999). Evaluación de la Nutrición Nitrogenada de Girasol Cultivado en Balcarce. *Ciencia del Suelo*, 20-26.
- TRIBOÏ-BLONDEL, A., BONNEMOY, B., FALCIMAGNE, R., MARTIGNAC, M., MESSAOUD, J., PHILIPPON, J., & VEAR, F. (2000). The effect of temperature from flowering to maturity on seed composition of high oleic sunflower inbreeds and mid oleic hybrids. *Proceedings of the 15th International Sunflower Conference* (págs. 1-6). Toulouse, France: International Sunflower Association:Paris.
- USHA, K., SHARMA, K., NAGASRI, K., SRINIVAS, K., VISHNU, T., MARUTHI, G., . . . KUSUMA, J. (2009). Response of Sunflower to Sources and Levels of Sulfur under Rainfed Semi-arid Tropical Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40, 2926–2944.
- WALKER, K. C., & BOOTH, E. J. (2003). Sulphur Nutrition and Oilseed Quality. En Y. P. Abrol, & A. Ahmad, *Sulphur in Plants* (págs. 323-339). Dordrecht: Springer
- WHATLEY, J. (1971). Ultrastructural changes in chloroplasts of *Phaseolus vulgaris* during development under conditions of nutrient deficiency. *New Phytol*, 70(4), 725-742.
- WORKU, M., BÄNZIGER, M., ERLEY, G. S., FRIESEN, D., DIALLO, A., & HORST, W. (2007). Nitrogen Uptake and Utilization in Contrasting Nitrogen Efficient Tropical Maize Hybrids. *Crop Science Society of America*, 47, 519-528.
- ZHELJAZKOV, V. D., CANTRELL, C. L., EBELHAR, M. W., ROWE, E. D., & COKER, C. (2009). Productivity, Oil Content, and Oil Composition of Sweet Basil as a Function of Nitrogen and Sulfur Fertilization. *Hort Science*, 43, 1415–1422.
- ZHELJAZKOV, V. D., VICK, B. A., BALDWIN, B. S., BUEHRING, N., COKER, C., ASTATKIE, T., & JOHNSON, B. (2011). Oil productivity and composition of sunflower as a function of hybrid and planting date. *Industrial Crops and Products*, 33, 537-543.