

Journal of Agricultural Sciences Research

GENERACIÓN DE LA VARIEDAD DE GIRASOL ALTO OLEICO PRECOZ: GIR-AO-10 PARA GUANAJUATO, MÉXICO

Miguel Hernández Martínez
INIFAP Campo Experimental Bajío

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: México es parte del centro de origen del girasol (*Helianthus annuus*), con una superficie sembrada en 2020 de 2,779 ha y una producción de 4,950 t de grano, con rendimiento promedio de 1.79 tha^{-1} . La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México, no se ha generado variedades alto oleicas mexicanas, por lo que las empresas trasnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. Ante la problemática el INIFAP, se propuso como objetivo el desarrollo de variedades alto oleico a partir de generaciones avanzadas de híbridos comerciales alto oleico, previa revisión de que no estuvieran patentados los híbridos por la empresa distribuidora. Para la generación de variedades alto oleico se usó el método de mejoramiento Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas y el método Selección Genealógica Combinada, auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares, la cual permite identificar los segregantes tipo alto oleico a los 30 días de nacidos y al llegar a floración los segregantes se autofecundan durante varias generaciones, evaluando por rendimiento, contenido y tipo de aceite las progenies promisorias en tres ambientes de temporal durante dos años, lo que permitió seleccionar para su posible liberación, la nueva variedad alto oleico: GIR-AO-10 de ciclo precoz, para las condiciones de temporal del estado de Guanajuato en México.

Palabras clave: *Helianthus annuus*, temporal, ciclo precoz, intermedio y tardío.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los principales países que destacan por la superficie sembrada y cosechada de girasol son: Rusia con el 29%, Ucrania 29%, Argentina 9%, Rumania 9% y China 8% (Bye *et al.*, 2009). México es parte del centro de origen del girasol (*Helianthus annuus*) (Lentz *et al.*, 2001). Se considera que el girasol fue llevado de América a Europa (Heiser, 1998), por colonizadores españoles, ingleses y franceses. Todas las subespecies son naturales de América (Harter, 2004), sin embargo, se le ha dado poca o nula importancia al cultivo en México (Rieseberg y Seiler, 1990). El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos, considera que solo se ha colectado el 25% de la diversidad genética del girasol silvestre. Actualmente en el país la superficie sembrada es de 2,779 ha con una producción de 4,950 t de grano, con un rendimiento promedio de 1.79 tha^{-1} . Los principales estados productores son: Guanajuato 30%, Zacatecas 22%, Sonora 20%, Jalisco 18% y Tamaulipas 10%. Desde el 2013 se ha promovido la siembra de girasol en el estado de Guanajuato, a través de la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR, 2020) y a partir del 2015, se ofrece agricultura por contrato (AC), para la siembra de girasol alto oleico. Las empresas que ofrecen AC son las siguientes: Aceites Especiales Tron Hermanos de Morelia, AK de Jalisco; PepsiCo y Aceites el Mayo. En 2018-19 se sembró y cosechó 1,300 hectáreas de girasol Alto Oleico en AC, en Guanajuato (INEGI, 2022). La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México (Hernández, 2011), no se ha generado variedades alto oleicas mexicanas, por lo que las empresas trasnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. El objetivo fue: Desarrollar variedades de girasol mexicanas alto oleico, que demanda la industria aceitera y que el costo de la semilla sea más económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad de mejoramiento y manejo agronómico. El proceso de mejoramiento se realizó en el Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato, México y el manejo agronómico en las parcelas experimentales bajo riego y las evaluaciones en temporal en todos los ciclos fue, para control de maleza de hoja ancha y angosta se aplicó el herbicida Premerlin 600 CE 2.0 Lha⁻¹ en preemergencia, la fórmula de fertilización aplicada fue la 80-40-00 todo a la siembra, para el control de diabrotica y chapulín se aplicó Cypermetrina 1.0 Lha⁻¹, en el caso de riego el calendario de riego, fue 0-35-70-100 después de la siembra.

Germoplasma. Para la generación de variedades con alto contenido de aceite del tipo alto oleico, se derivaron a partir de generaciones avanzadas F₂ de híbridos comerciales (de Syngenta) alto oleico sobresalientes, dentro del proceso del método de mejoramiento denominado Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas (SREPA) (Benítez, 2002) y el método Selección Genealógica Combinada (SGC) (Márquez, 1988), auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAMM), la cual permite identificar los segregantes tipo alto oleico usando el marcador FAD-2.

Identificación de segregantes alto oleico. El marcador que se usó desde el ciclo 1 al 6 y que mejor discrimina el carácter no oleico del oleico, fue FAD-2, que amplifica un fragmento de aproximadamente 600 pares de bases y que identifica la mutación de Pervenet, ligada con la síntesis preferente de ácido oleico, el cual permitió el escrutinio y la certeza de avanzar solo segregantes oleicos.

Esquema del mejoramiento. En el Cuadro 1 se resume todo el proceso de actividades del mejoramiento a través de los 6 ciclos, en donde destaca que para cada ciclo se aplica la SAMM para identificar y/o verificar el carácter alto

oleico usando el marcador FAD-2 en etapa temprana y en floración se autofecundan para obtener líneas homocigotas y al cosechar se va aplicando diversos porcentajes de presión de Selección (PS) para seleccionar los mejores segregantes. En los dos últimos ciclos se evalúan ensayos uniformes de rendimiento y caracterización varietal para definir, cual o cuales son las mejores variedades dentro del grupo de precoces, por rendimiento de grano, fitosanidad, porcentaje de contenido de aceite y dentro de este el porcentaje de aceite del tipo alto oleico.

Ciclo	Actividad	SAMM + *Autofecundación	Presión de Selección	Segregantes Seleccionados
1	Generación F ₂	40* S ₀	50%	20 S ₀
2	Siembra 20 S ₀	300* S ₁	60 %	60(P+I+T) S ₁
3	EPRP	60* S ₂	30 %	18(P) S ₂
4	LARP	18* S ₃	-	18(P) S ₃ +1PSP
5	EUR:18P + PSP(3A)	18* S ₄	-	18(P) S ₄ +PSP
6	EURCV (3A)	18* S ₅	El mejor	1(P) S ₅ +PSP

SAMM = Selección Asistida por Marcadores Moleculares; * = Autofecundación; P = Precoces; I = Intermedios; T = Tardíos; PSP = Población Sintética Precoz; EPRP = Ensayo Preliminar de Rendimiento Precoces; LARP= Lote Aislado de Recombinación de Precoces; EUR = Ensayo Uniforme de Rendimiento; 3A = Tres ambientes de evaluación; EURCV = Ensayo Uniforme de Rendimiento y Caracterización Varietal.

Cuadro 1. Proceso de mejoramiento de la variedad precoz GIR-AO-10, en el Campo Experimental Bajío.

Ciclo 1. Se establece la generación F₂ que proviene del híbrido comercial alto oleico y a los 30 días de nacida, se identifican las plántulas de las cuales se colecta tejido foliar y en laboratorio se aplica la SAMM para identificar 40 plantas alto oleico, las cuales al iniciar la floración se autofecundan (S₀),

se toma las variables de días a flor, altura de planta, fitosanidad, diámetro de cada capítulo; al cosechar se pesa el rendimiento de grano de cada capítulo, se mide el contenido de aceite, posteriormente se aplica una presión de selección (PS) del 50%, para seleccionar los 20 S_0 más sobresalientes.

Ciclo 2. Se siembran los 20 segregantes, a los 30 días se colecta y se aplica SAMM a la población segregante, para identificar 300 alto oleicos en el laboratorio con la muestra foliar de cada segregante; en floración se autofecundan S_1 , clasificándolos por ciclo precoz (P), intermedio (I) y tardío (T) y al cosechar se midió el rendimiento y contenido de aceite por capítulo, aplicando una PS del 60% para seleccionar solo los mejores 60 precoces y las selecciones intermedias y tardías se guardaron para su posterior uso.

Ciclo 3. Se establece el Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR) de las 60 selecciones precoces y a los 30 días se aplica SAMM para confirmar el carácter alto oleico, posteriormente en floración se autofecundan S_2 y al madurar se cosechan, se mide rendimiento y contenido de aceite y se aplica PS 60%, para seleccionar solo las 18 mejores selecciones S_2 .

Ciclo 4. Se establece un Lote Aislado de Recombinación de Precoces (LARP) de los 18 segregantes P, y se avanza en forma separada el proceso de autofecundación S_3 de los 18 P; se cosecha la semilla de recombinación del lote aislado para formar la población sintética precoz (PSP). A todos los segregantes se aplica SAMM para verificar que posean el carácter alto oleico.

Ciclo 5 y 6. Se establece por dos ciclos, el Ensayo Uniforme de Rendimiento de los 18 segregantes precoces y la Población Sintética Precoz (PSP) y en el ciclo 6 se realiza la Caracterización Varietal (EURCV) en tres ambientes de temporal (en los municipios de Celaya, Apaseo El Alto y Acámbaro) de

los genotipos sobresalientes S_4 , los cuales se avanzan a S_5 , para definir la mejor variedad o variedades.

Diseño experimental. En los ensayos uniformes del ciclo 5 y 6, fue bloques al azar con tres repeticiones, el tamaño de parcela fue de un surco de 4 metros, el ancho de surco fue de 0.80 m. Se realizó el análisis de varianza y para la separación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo 1. Se estableció la generación F_2 que proviene del híbrido comercial alto oleico, a los 30 días de nacida, se aplicó la SAMM identificando 40 plantas alto oleico, las cuales se autofecundaron (S_0), se tomó las variables de días a flor, altura de planta, sanidad, diámetro de cada capítulo; se pesó el rendimiento de grano de cada capítulo, se midió el contenido de aceite, posteriormente se aplicó una presión de selección (PS) del 50%, para seleccionar los 20 S_0 segregantes más sobresalientes.

Ciclo 2. Se sembró los 20 segregantes, a los 30 días se aplicó la SAMM a la población segregante y se identificó 300 segregantes alto oleico, en floración se autofecundaron S_1 , clasificándolos acorde a su ciclo precoz (P), intermedio (I) y tardío (T), se cosechó, peso el rendimiento y se midió el contenido de aceite por capítulo, aplicando una PS del 60%, para seleccionar solo los mejores 60 precoces y las otras selecciones intermedias y tardías, se guardaron para su posterior uso.

Ciclo 3. Se estableció y se cosecho el Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR) de los 60 segregantes precoces, con testigos comerciales acordes al ciclo, se aplicó una PS del 30%, seleccionando los 18 mejores con rendimientos comparables o bien dentro del rango de rendimiento obtenido por los testigos híbridos comerciales, con rendimientos de 2.1 a 2.7 tha^{-1} ; (Ver Cuadro 2).

Testigo	Ciclo	Días flor	Rango kgha ⁻¹	Segregantes seleccionados dentro del rango de rendimiento de los testigos
P-64 HC - 133	Precoz	72	2,550	18 segregantes precoces con rendimientos de 2.1 a 2.7 tha ⁻¹ y en el rango de floración
P-64 HC - 118	Precoz	68	2,320	

Cuadro 2. Número de segregantes precoces intermedios y tardíos, seleccionados del ensayo preliminar dentro del rango de rendimiento (kgha⁻¹) obtenido por los testigos híbridos.

Ciclo 4. Se estableció, se recombinó y se cosecho, el Lote Aislado de Recombinación de los 13 segregantes Precoces (LARP) y en forma separada se avanzó el proceso de autofecundación S₃ de los 18 P. Se cosechó la semilla de recombinación del lote aislado, formando la población sintética precoz (PSP).

Ciclo 5 y 6. Se estableció por dos ciclos, el Ensayo Uniforme de Rendimiento de los 18 segregantes precoces y de la Población Sintética Precoz (PSP), realizando la Caracterización Varietal (EURCV) en ciclo 6 en los tres ambientes de temporal, que fueron en los municipios de Celaya, Apaseo El Alto y Acámbaro del estado de Guanajuato. En forma separada los 18 genotipos se avanzaron por autofecundación a S₄ y S₅.

En los Cuadros 3 y 4 se muestran los resultados de rendimiento de los genotipos de girasol precoces alto oleico evaluados en los ciclos 5 y 6, bajo condiciones de temporal, en las localidades de Acámbaro, Apaseo el Alto y Celaya, así como las precipitaciones que se presentaron en dichas localidades, destaca un buen grupo que supera en rendimiento a los testigos comerciales regionales precoces, sin embargo, sobresale la variedad GIR-AO-10 con un promedio de rendimiento de 2,209 kgha⁻¹ en el ciclo 5 (Cuadro 3) y en el ciclo 6 con 2,107 kgha⁻¹ (Cuadro 4), escogiendo esta variedad para su posible registro.

Variedad GIR-AO-10. Es una variedad de girasol alto oleico precoz, con 71 días a floración y 132 días a madurez de cosecha, con una altura promedio de planta de 1.82 m y un diámetro de capítulo de 26 cm. El rendimiento promedio de grano en dos años en tres localidades bajo condiciones de temporal es de 2,158 kgha⁻¹, que comparado con el rendimiento del mejor testigo P 64H-118 con 1,920 kgha⁻¹, lo supera en un 12% más (Cuadro 5), con un porcentaje de aceite del 42% y de este porcentaje el 89.7% es aceite del tipo alto oleico (Ver Cuadro 12). La variedad es tolerante a las enfermedades foliares causadas por *Verticillium dahliae*, que ocasiona marchitez y senescencia de hojas y *Alternaria helianthi* que ocasiona manchas de hoja.

Variedad	Temporal kg/ha	% Ac	%O	A.P. cm	D.C. cm	D.F. días
GIR-AO - 10	2,158	42	89.7	182	26	71
PSP	2,074	43.5	92.1	187	27	73
P 64H - 118 T	1,920	40	89.9	176	27	70

Cuadro 5. Rendimiento promedio de la variedad precoz GIR-AO-10, en tres localidades de temporal en dos años, (Celaya, Apaseo El Alto y Acámbaro), porcentaje de aceite oleico (% O) contenido dentro del porcentaje total de aceite (% Ac) y sus características agronómicas y de la población sintética precoz (PSP) y del testigo híbrido (T).

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capítulo; T= Testigo.

CONCLUSIONES

Con base en el método de mejoramiento, los resultados en las evaluaciones de rendimiento, el análisis del porcentaje y tipo de aceite, aunado a la comparación con los testigos comerciales empleados, se seleccionó la variedad precoz GIR-AO-10, para su pertinente posible liberación para temporal en el estado de Guanajuato, México.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
17	Gir AO-10	2317	2220	2090	2209 a
16	Gir AO-184-1	2287	2170	2105	2187 a
10	Gir AO-107-1	2310	2128	2120	2186 a
1	Gir AO-16-1	2193	2190	2158	2180 ab
12	Gir AO-132-1	2290	2055	2128	2157 ab
14	Gir AO-154-2	2238	2054	2025	2105 ab
7	Gir AO-52-1	2207	2000	2026	2077 ab
6	Gir AO-48-1	2159	2035	2000	2064 ab
15	PSP	2194	1920	1984	2032 abc
13	Gir AO-149-1	2167	1913	1960	2013 abcd
3	Gir AO-40-2	2185	1930	1908	2007 abcd
2	Gir AO-17-1	2169	1919	1920	2002 abcd
18	Gir AO-211-4	2173	1819	1942	1978 abcd
20	Tes. Cobalto	2174	1821	1784	1926 abcd
19	Tes. P 64H-118	2000	2010	1710	1906 abcd
4	Gir AO-42-2	1900	1820	1780	1833 bcd
5	Gir AO-47-2	1820	1670	1525	1671 cd
8	Gir AO-58-1	1820	1678	1515	1671 cd
9	Gir AO-68.2	1795	1700	1510	1668 cd
11	Gir AO-114-1	1790	1685	1500	1658 d
	Media Testigos	2087	1915	1747	1916
	Tukey 5%	380	366	354	366
	Precipitación mm	495	460	412	

Cuadro 3. Rendimientos obtenidos por girasoles precoces, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 5 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
17	Gir AO-10	2201	2152	1968	2107 a
16	Gir AO-184-1	2224	2183	1859	2082 a
10	Gir AO-107-1	2211	2160	1821	2064 ab
1	Gir AO-16-1	2256	2142	1770	2056 abc
12	Gir AO-132-1	2198	2123	1787	2036 abc
14	Gir AO-154-2	2112	2080	1883	2025 abc
7	Gir AO-52-1	2265	2130	1707	2014 abc
6	Gir AO-48-1	2189	2101	1734	2008 abc
15	PSP	2158	2025	1814	1999 abc
13	Gir AO-149-1	2101	2058	1601	1920 abc
3	Gir AO-40-2	2015	1999	1728	1914 abc
2	Gir AO-17-1	2084	1978	1632	1898 abc
18	Gir AO-211-4	2000	1990	1653	1881 abc
20	Tes. Cobalto	1998	1845	1719	1854 abc
19	Tes. P 64H-118	1878	1994	1672	1848 abc
4	Gir AO-42-2	1944	1820	1582	1782 abc
5	Gir AO-47-2	1912	1758	1640	1770 abc
8	Gir AO-58-1	1878	1750	1547	1725 bc

9	Gir AO-68.2	1936	1728	1496	1720 c
11	Gir AO-114-1	1787	1699	1662	1716 c
	Media Testigos	1938	1919.5	1695.5	1851
	Tukey 5%	352	340	329	340
	Precipitación mm	478	464	460	

Cuadro 4. Rendimientos obtenidos por girasoles precoces, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 6 en Guanajuato.

REFERENCES

- Benítez, R. I. 2002. Selección recurrente con progenies endogámicas de especies autóгамas: Eficiencia de Campo. *Agrociencia*, vol. 36, núm. 1, enero-febrero, 2002, pp. 55-65; Colegio de Postgraduados; Texcoco, México.
- Bye, R., E. Linares y D. L. Lentz. 2009. México: Centro de origen de la domesticación del Girasol. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, UNAM.12(1):5-12.
- Harter, A.V. 2004. Origin of extant domesticated sunflowers in eastern North America. *Nature* 430, 201-205.
- Heiser, B. C. 1998. The domesticated sunflowers in old Mexico? *Genetic Resources and Crop Evolution* 45:447-449.
- Hernández, M., M. 2011. Cultivos Alternativos para Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. Libro Técnico No. 4.
- INEGI, 2022. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno de la República de México. 158p.
- Lentz, D.L., Pohl, M.E.D., Pope, K.O. & Wyatt, A.R. 2001. Preshistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in México. *Economic Botany* 55:370-376.
- Márquez. S. F, 1988. *Genotecnia Vegetal II*. AGT Editor, S.A. México. 665p.
- Rieseberg, L. H. & Seiler, G. 1990. Molecular evidence and the origin and development of the domesticated sunflower (*Helianthus annuus*). *Econ. Bot.* 44S, 79-91.
- SDAyR. 2020 Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural: Análisis de la productividad y rentabilidad de las unidades de producción agroalimentarias del estado de Guanajuato. SDAyR-Gobierno del Estado de Guanajuato. 156p.

