

Luis F. Hernández y Gustavo A. Orioli



Incidencia del número de frutos cosechables en la determinación del potencial de rendimiento del cultivo de girasol.

Luis F. Hernández egresó como Ingeniero Agrónomo en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional de Sur donde además obtuvo su grado académico de Magister Scientiae en Producción Vegetal. Posteriormente se trasladó a la Universidad de Nueva Gales del Sur, Australia, donde trabajó sobre la organogénesis del desarrollo reproductivo del girasol obteniendo el grado de Doctor of Philosophy (1988). Actualmente se desempeña como Profesor Adjunto en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur y como Miembro de la Carrera del Investigador Científico de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC).

Gustavo A. Orioli es Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad Nacional del Nordeste. Obtuvo su grado académico de Magister Agriculturae en el IICA (Turrialba, Costa Rica), para luego realizar su doctorado en la Universidad de Cornell, (U.S.A., 1971). Actualmente es Profesor Titular en el Departamento de Agronomía. Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS). Universidad Nacional del Sur. 8000. Bahía Blanca. Es miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Es conocida la importancia del cultivo de girasol como fuente de aceite para la alimentación humana y como significativo aporte de divisas para los países que lo producen. Es así que, para obtener mayores aumentos en su rendimiento, es fundamental el máximo conocimiento que se pueda lograr sobre las características fisiogenéticas que determinan y controlan el desarrollo potencial de sus órganos de cosecha.

La expresión del rendimiento potencial de un cultivo está controlado por un gran número de factores, los cuales pueden ser propios de la especie como así también del medio ambiente.

Uno de estos factores es, por ejemplo, la eficiencia con la cual se movilizan las sustancias elaboradas desde los sitios de síntesis (fuentes) hasta los órganos de cosecha (destinos cosechables). La ubicación relativa de los órganos de cosecha dentro de la planta es otro factor responsable de restringir el ritmo de crecimiento y el rendimiento y la eficiencia de la competencia por la oferta de fotoasimilados. Se ha observado asimismo que por ejemplo en trigo, cambios en el nivel endógeno de reguladores de crecimiento pueden actuar limitando el crecimiento potencial de los órganos de cosecha.

En el girasol, los órganos de cosecha están representados por los frutos desarrollados en el capítulo (cipcelas). Dado que el número y el peso individual de los frutos se consideran componentes importantes de la ecuación de rendimiento en girasol, es necesario entonces para comprender

en profundidad el proceso de gestación del máximo potencial de rendimiento del cultivo, caracterizar cómo se desarrollan los mismos bajo diferentes condiciones de crecimiento de la planta.

Este artículo tiene por objeto describir cómo responden los componentes del rendimiento, peso y número de frutos, frente a cambios en algunos factores del medio ambiente. De esta forma se podrán definir algunos aspectos de la fisiología del rendimiento del cultivo que permitan orientar sobre pautas de manejo y mejoramiento que tiendan a lograr un aumento en su potencial productivo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Los trabajos experimentales que dieron origen a los resultados descritos en este trabajo fueron realizados en el valle inferior del río Colorado (sur de la Provincia de Buenos Aires), y en el campo experimental que el Departamento de Agronomía de la UNS posee en la ciudad de Bahía Blanca, utilizando los cultivares híbridos comerciales de girasol Continental P-75, Cargill S-400 y Dekalb G-90 y G-100.

La modificación de la relación fuente-destino de fotoasimilados se efectuó mediante sombreado artificial del canopeo utilizando materiales sintéticos que redujeron en un 40% la intensidad de radiación interceptada por las plantas, extrayendo selectivamente diferentes hojas de las plantas (superiores intermedias o

inferiores) logrando una reducción entre el 25% y 60% de la superficie foliar total desarrollada en antesis, o reduciendo el número potencial de frutos al extraer selectivamente entre el 33% y 66% del total de flores diferenciadas en el capítulo durante el período de antesis. Asimismo se realizaron ensayos incrementando la densidad de población de plantas en el cultivo en un rango comprendido entre 2,8 plantas m² y 33,3 plantas m².

Se utilizaron además técnicas de marcado radiactivo a los efectos de determinar la dinámica del transporte de los fotoasimilados desde diferentes hojas hacia los frutos en desarrollo en diferentes partes del capítulo. También se estudió la variación de los componentes del rendimiento frente al efecto de modificaciones del desarrollo radical por compactación de horizontes superficiales del suelo, baja fertilidad y por la acumulación de sales solubles en el perfil como consecuencia del riego.

Los resultados aquí presentados integran 5 años de experimentación y surgen del promedio de al menos dos estaciones consecutivas de crecimiento y no menos de dos cultivares híbridos por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Incrementos en la densidad del cultivo produjeron una disminución del número y peso individual de los frutos desarrollados en la planta. El número de frutos

disminuyó en forma constante para todas las densidades analizadas mientras que el peso alcanzó un límite mínimo que no varió significativamente al aumentar sensiblemente la densidad del cultivo (Figura 1). Desfoliaciones selectivas previas a la antesis también produjeron una disminución mayor en el número que en el peso de los frutos, notándose también la tendencia de este último componente a alcanzar un valor límite mínimo. Una vez alcanzado el probable peso mínimo de los frutos ($37.2 \text{ mg fruto}^{-1}$ Figura 1) posteriores aumentos en la población del cultivo no modificaron su magnitud.

Se observó entonces que al no continuar disminuyendo el peso de los granos por debajo de este valor límite, aumentos en la población del cultivo resultaron en un significativo aumento en el rendimiento final por unidad de superficie para densidades que oscilaron entre 17 y 33 plantas m^{-2} , (Cuadro 1). Este resultado estaría explicado por el hecho que el índice de área foliar alcanza su máximo valor al menos 3 semanas antes en un cultivo de alta densidad (Figura 2) habiéndose producido una más rápida cobertura del suelo y consecuentemente una mayor eficiencia en cuanto a la intercepción de la radiación solar del cultivo.

Aumentos de la concentración de sodio en el suelo, significaron una reducción gradual en la biomasa alcanzada por las plantas (Cuadro 2). Se produjo una disminución en el número de frutos por capítulo la cual fue más constante que la

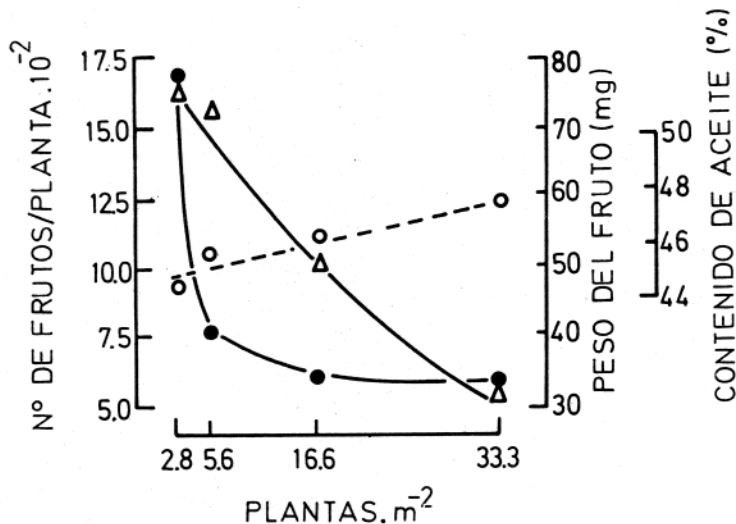


Figura 1: Relación existente entre el número promedio de frutos llenos desarrollados en el capítulo (Δ), el peso individual promedio de los frutos (∞) el contenido porcentual de aceite (o) y la densidad del cultivo.

CUADRO 1: Resultados obtenidos del análisis del rendimiento económico (R_e) para diferentes densidades de plantas en el cultivo.

Densidad (Plantas $\cdot \text{m}^{-2}$)	R_e ($\text{g} \cdot \text{plantas}^{-1}$)	R_e ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	Índice de cosecha*
02,8	131,6	368,5 a	39,4
05,6	66,4	371,8 a	35,2
16,6	37,9	629,1 b	37,3
33,3	20,1	668,7 b	28,6

* Índice de cosecha:

$$\frac{\text{Peso de los frutos cosechados por planta } (R_{\text{económico}})}{\text{Biomasa aérea seca total } (R_{\text{biológico}})} \times 100$$

Las medidas seguidas por la misma letra no difieren significativamente.

disminución del peso individual de los mismos (Figura 3). Este último parámetro alcanzó nuevamente un determinado valor límite por debajo del cual no presentó significativos cambios, observándose entonces una respuesta similar al efecto producido por incrementos de la densidad del cultivo (Figura 1).

La extracción de flores durante la antesis, hasta llegar a una reducción del 66 % del total inicial diferenciadas en el capítulo, produjo un aumento en el peso promedio de los frutos remanentes en el mismo (Figura 4). Este aumento de peso alcanzó un valor límite máximo promedio de 75.3 mg fruto⁻¹. Por otro lado, al aumentar el peso del fruto, se incrementó su relación pericarpio/semilla (Figura 5). En este tratamiento se observó además una tendencia a disminuir el porcentaje de aceite de los frutos (Figura 4) lo cual también se explicaría por el incremento relativo del peso del pericarpio con respecto al del embrión (Figura 5). Se puede inferir entonces que el peso límite máximo alcanzado por los frutos no estaría determinado por impedimentos físicos dentro del capítulo ni por la disponibilidad de fotoasimilados, sino por su propia capacidad de incorporar a estos últimos.

Alimentando las hojas de las plantas con ¹⁴CO₂, se observó que durante la etapa de llenado de los frutos (aproximadamente 52 días entre fecundación y madurez fisiológica), se produjo una significativa incorporación de radiactividad en el pericarpio. Asimismo se determinó que los carpelos del ovario los cuales

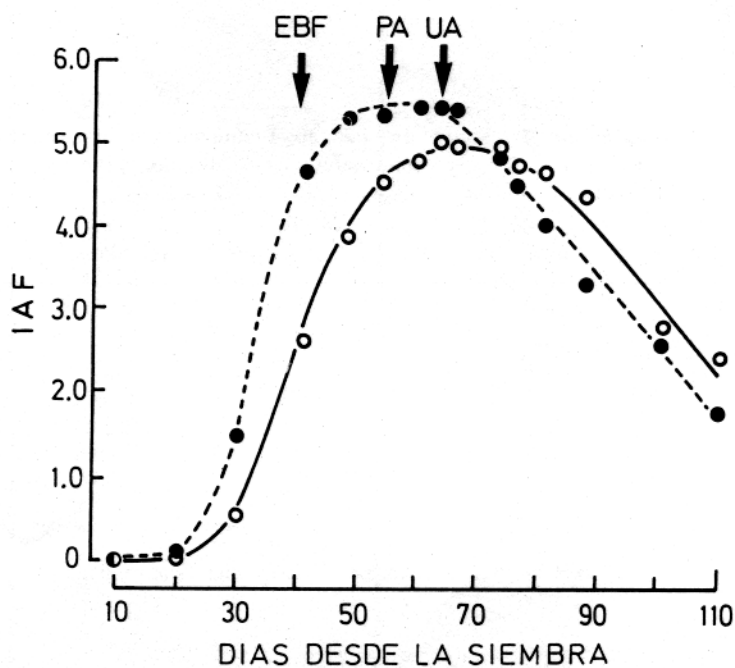


Figura 2: Evolución del índice de área foliar (IAF) durante el ciclo de crecimiento del cultivo y de acuerdo a la densidad del mismo. (o): 5,6 plantas m⁻²; (∞): 16,6 plantas m⁻². EBF: emergencia del botón floral; PA: primera antesis; UA: última antesis.

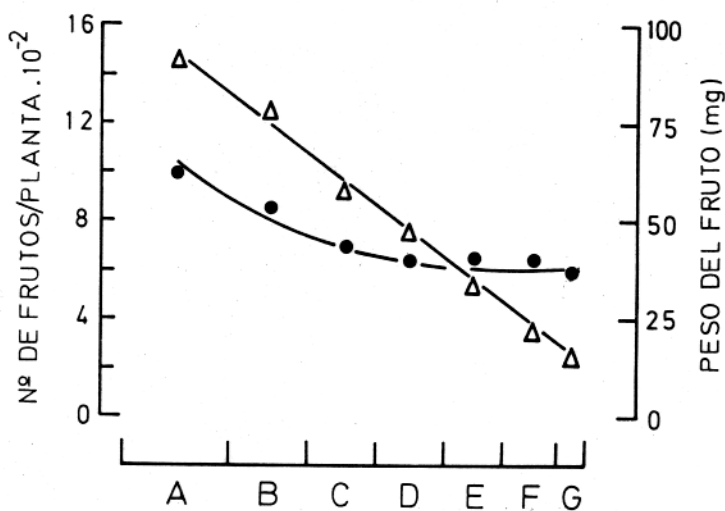


Figura 3: Relación entre el número promedio de frutos llenos desarrollados en el capítulo (Δ), el peso individual promedio de los frutos (∞) y el contenido del sodio del suelo (Ver cuadro 1).

CUADRO 2: Contenido de sodio en los 30 primeros cm del perfil y rendimiento biológico (Rb) y económico (Re) de las plantas.

Suelo utilizado	[Na] (meq. 100 g ⁻¹)	R _b (g. planta ⁻¹)	R _e (g. planta ⁻¹)
A	0,4	172,1 a	93,30 a
B	0,8	132,1 a	65,15 a
C	1,1	96,3 b	44,55 b
D	1,0	67,5 c	32,10 c
E	2,3	49,0 d	25,15 d
F	5,9	34,7 e	17,70 e
G	19,5	22,8 f	8,45 f

Las medidas seguidas por la misma letra no difieren significativamente.

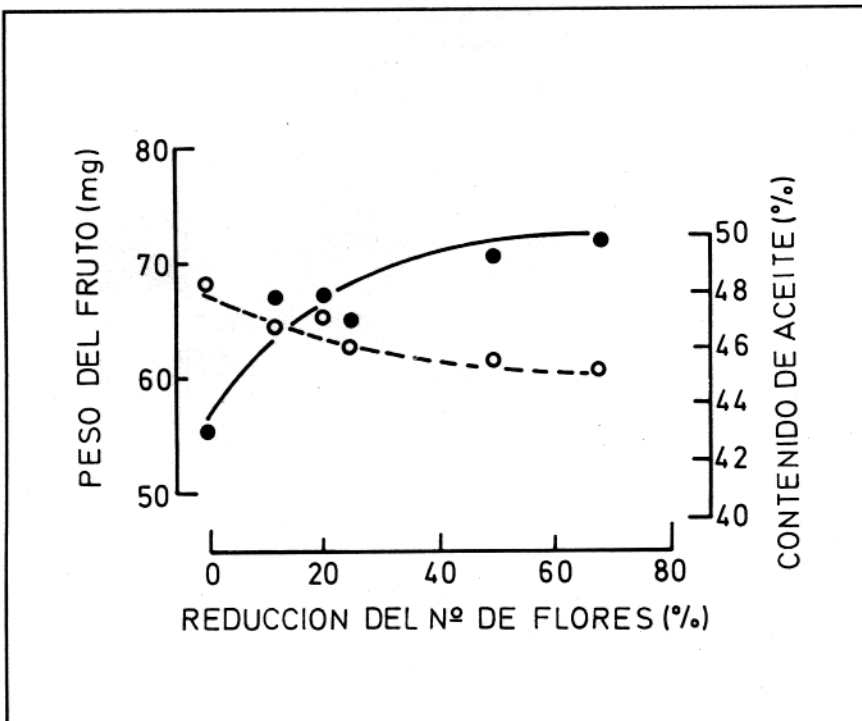


Figura 4: Relación entre el número promedio de frutos (●) y contenido porcentual de aceite de los mismos (○), a partir de la extracción selectiva de flores del capítulo en el periodo de antesis.

constituyen a la madurez el pericarpio del fruto, presentaron muy desarrollado su sistema vascular aún antes de haberse producido la fecundación. Esto sugiere que el pericarpio sería capaz de competir con la semilla por los fotoasimilados disponibles durante las primeras etapas del desarrollo del fruto y el nivel de competencia dependería de la proporción del mismo en relación al peso total del fruto entero.

Se observó que en parcelas con una densidad igual o menor de 5.6 plantas m⁻², el peso de los frutos desarrollados en la periferia del capítulo generalmente fué significativamente mayor que el de los desarrollados en la región central del mismo. En cambio no se determinó una diferencia significativa entre el peso de los frutos externos e internos de plantas crecidas a una alta densidad de población (por ejemplo 16.6 y 33.3 plantas m⁻²) cuyos capítulos son generalmente mas pequeños.

En este sentido se ha mencionado que las flores externas del capítulo del girasol, las cuales abren primero en la secuencia de antesis, pueden competir por los fotoasimilados disponibles mejor que las ubicadas en el centro de la inflorescencia. Ello ha sido explicado por un efecto de menor distancia con las brácteas involucrales y con el estrato superior de hojas del canopeo y por una arquitectura particular de los haces vasculares en el receptáculo. El efecto de la distancia fuente-destino es, como se ha observado en otras especies, uno de los principales responsables de la selectividad de la incorporación de fo-

toasimilados en diferentes órganos. Es posible entonces que modificaciones en la fisiología y morfología de la planta producidas por cambios en las condiciones ambientales, aumenten la prioridad de llenado y síntesis de lípidos en los frutos más externos.

Un cálculo sencillo se puede realizar a los efectos de analizar comparativamente la respuesta de la ganancia de peso de los frutos creciendo en diferente posición dentro del capítulo.

Si se considera una diferencia de 10 días entre la primera y última antesis y asumiendo una respuesta lineal de la ganancia en peso de los frutos durante la etapa inicial de su llenado, conociendo el peso máximo alcanzado por los frutos externos e internos (**Cuadro 3**), se puede determinar que el ritmo de crecimiento de los frutos es prácticamente similar para cualquier posición dentro del capítulo (un valor promedio de 1.19 mg fruto día⁻¹). Esto indica que una menor duración en el período de llenado contribuiría entonces a limitar el peso de los frutos ubicados hacia el centro del capítulo.

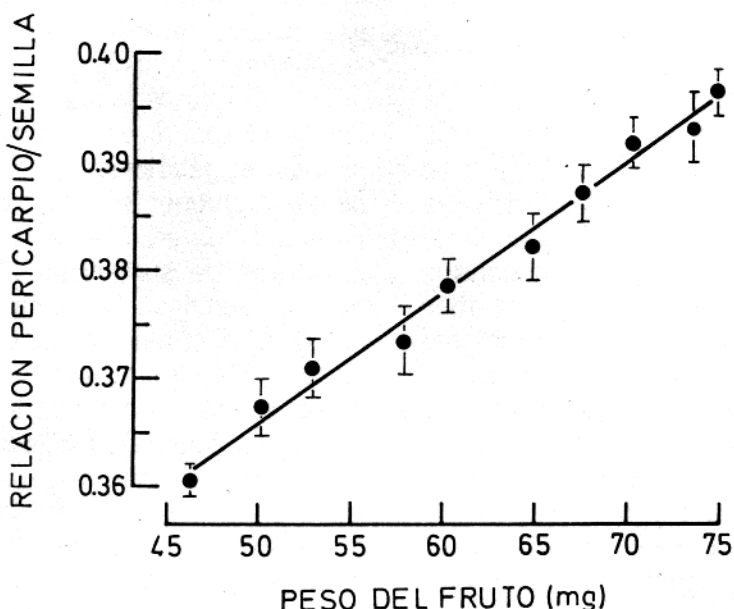


Figura 5: Relación entre el peso de los frutos y la relación de pericarpio/semilla (en peso) de los mismos.

Cuadro 3: Cálculo del ritmo de crecimiento de los frutos ubicados dentro del capítulo en posición externa (en la periferia), intermedia e interna, para un cultivo con un ciclo de 110 días de desarrollo.

Peso final de los frutos externos.....	62,13 mg
Período efectivo de llenado	52 días (*)
Ritmo de crecimiento de los frutos externos:	
	1.194 mg fruto día ⁻¹ (**)
Peso final de los frutos intermedios	55,71 mg
Período efectivo de llenado	47 días (**)
Ritmo de crecimiento de los frutos intermedios:	
	1.187 mg fruto día ⁻¹ (**)
Peso final de los frutos internos	49,78 mg
Período efectivo de llenado	42 días (*)
Ritmo de crecimiento de los frutos internos:	
	1.185 mg fruto día ⁻¹ (**)

(*): Considerando el tiempo transcurrido entre la fecundación y la madurez fisiológica.

(**): Las diferencias observadas en la magnitud del ritmo de crecimiento de los frutos externos, intermedios e internos no son estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

ADAPTACION DEL POTENCIAL DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Dentro de lo observado en la mayoría de las especies, tanto cultivadas como no cultivadas, el número y peso de sus órganos reproductivos son dos factores que condicionan la estrategia en la disposición de los recursos reproductivos de las mismas. En general las plantas tienden a responder a cambios en el ambiente variando por ejemplo el número de diseminulos por individuo.

En varias especies de cultivo se observa un alto grado de estabilidad en el peso de sus frutos en relación a las densidades de población en las cuales se desarrollan. Es así entonces que si bien el número de frutos puede variar entre diferentes especies en un rango de 10 veces su magnitud, el peso promedio de los mismos es más constante. El peso de los frutos es entonces uno de los componentes menos plásticos en cuanto a respuestas a factores estrés en ciertas especies. Esta característica parece haberse equilibrado a través de la evolución de las especies, conservándose a expensas del número de frutos en casos en que las condiciones del medio ambiente hacen que la planta deba reducir su esfuerzo reproductivo.

Para algunas gramíneas cultivadas existen evidencias de que el peso potencial de los frutos es una función del número de células del endosperma y del em-

brión, diferenciadas en base al nivel de fotoasimilados disponibles durante su desarrollo. Se podría inferir entonces que el tamaño funcional de las células del embrión podría estar limitado por factores genéticos a los efectos de mantener su eficiencia metabólica de crecimiento y de biosíntesis de sustancias altamente energéticas. No se ha estudiado si el número de células del embrión de la semilla de girasol puede variar entre diferentes genotipos. De todos modos es probable que este parámetro se encuentre genéticamente fijado y por lo tanto también podría incidir regulando el peso final del fruto.

Es indudable que la selección tanto natural como forzada por el hombre en el mejoramiento de las especies, ha llevado a la optimización de la distribución de la energía en las estructuras vegetativas y reproductivas. Este último componente del sistema se ha visto favorecido ampliamente en la selección por el rendimiento cuando lo que se ha buscado es lograr aumentos en los órganos de cosecha que coincidentemente son también reproductivos.

En general se puede decir que el aumento producido en el peso de los frutos de girasol a partir de especies multifloras primitivas hasta los cultivares comerciales actuales ha oscilado en el orden de 20 veces. Es probable por lo tanto que se mantengan, en los cultivares actuales las características primitivas, y que bajo condiciones de estrés las plantas expresen las mismas, manteniendo de esa manera un peso mínimo límite de sus frutos.

CONCLUSION

Los resultados de este trabajo muestran que el peso de los frutos del girasol no manifiestan un cambio de magnitud semejante al del número total desarrollado en la planta, independientemente de las condiciones de crecimiento del cultivo. Es probable que el peso mínimo de los frutos varíe entre diferentes cultivares, pero de todos modos la magnitud del rango de variación será relativamente baja.

El peso del fruto de la planta de girasol tiende entonces a alcanzar un valor mínimo frente a factores de estrés que puedan reducir sustancialmente la relación fuente-destino de fotoasimilados en la planta. No ocurre lo mismo con el número de frutos.

Por lo tanto, cuando las condiciones del medio ambiente inciden sobre el crecimiento del cultivo para que el potencial del rendimiento solamente se exprese con niveles medianos a bajos, el componente más importante en determinar el rendimiento del mismo será el número de frutos por planta. Cuando estas condiciones actúan para que el componente del rendimiento número de frutos quede fijado en la inflorescencia, el rendimiento estará entonces determinado por la variación que se logre en el peso del fruto el cual tenderá a un valor máximo, característico del genotipo.

Si las condiciones de crecimiento del cultivo se tornaran más favorables (por ejemplo aumentando la fertilidad del sue-

lo, mayor radiación interceptada, más agua disponible, etc.) se tendería a otro nivel en el cual el rendimiento aumentaría no solamente debido al número de frutos sino también a un aumento en el peso de los frutos, componente que ahora se desplazará a un nuevo valor máximo más alto.

Es así entonces que al quedar fijados, para determinadas condiciones ambientales, los límites máximo y mínimo del peso del fruto, la variable más importante en determinar el rendimiento será en número de frutos a desarrollar en la planta.

AGRADECIMIENTOS

La mayor parte de los ensayos descriptos en este trabajo han sido realizados con el apoyo económico de la CIC de la Provincia de Buenos Aires y del CONICET. Los autores agradecen a las compañías Dekalb Argentina S.A. y Cargill S.A.C.I. por su colaboración en la provisión del material experimental utilizado en los experimentos.

BIBLIOGRAFIA SELECCIONADA

- Durrieu, G., du Sert, C.P. and Merrien, A. (1985).** Anatomie du capitule de tournesol. Consequences sur la nutrition des akenes. Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Argentina, pp. 7-12.
- Evans, L.T. 1975.** The physiological basis of crop yield. En: Crop Physiology. (L.T. Evans Ed.) Cambridge University Press, London. pp. 327-355.
- Gifford, M. y Evans, L.T. 1981.** Photosynthesis, carbon partitioning and yield. Annu. Rev. Plant Physiol. 32, 485-509.
- Harper, J.L., Lovell, P.H. y Moore, K.G. 1970.** The shapes and sizes of seeds. Annu. Rev. Ecol. Syst. 1, 327-356.
- Heiser, C.B., Jr. 1978.** Taxonomy of *Helianthus* and origin of domesticated sunflower. En: Sunflower Science and Technology. (J.F. Carter Ed.) ASA, CSSA, SSSA, Wisconsin. pp. 31-53.
- Hernández, L.F. 1983.** Estudios sobre el desarrollo de los frutos de girasol (*Helianthus annuus* L.) y su respuesta a factores de estrés. Tesis de Magister Scientiae. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur, Argentina, 178 pp.
- Patil, V.A., Bangal, D.B. y Goswami, P.B. 1976.** A note on interfloret competition in sunflower. Indian J. Plant Physiol. 19, 28-31.
- Rawson, H.M. y Constable, G.A. 1980.** Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. 1. Photosynthesis and transpiration of leaves, stems and heads. Aust. J. Plant Physiol. 7, 555-573.
- Srivastava, G.C., Deshmukh, P.S. y Tomar, D.P.S. 1977.** Significance of leaf orientation and bract in seed yield in sunflower. Indian J. Plant Physiol. 20, 151-156.
- Stephenson, A.G. 1981.** Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. Annu. Rev. Ecol. Syst. 12, 253-279.