

# Girasol

aspectos fisiológicos  
que determinan  
el rendimiento

Luis Aguirrezábal  
Gustavo Orioli  
Luis Hernández  
Víctor Pereyra  
Juan Patricio Miravé



Facultad de  
Ciencias Agrarias



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE MAR DEL PLATA

Departamento de  
Agronomía



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL SUR

Estación Experimental  
Agropecuaria Bahía



CENTRO REGIONAL  
BUENOS AIRES SUR

# ***Girasol***

## **Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento**

**Aguirrezábal, L.A.N.**

**Orioli, G.A.**

**Hernández, L.F.**

**Pereyra V.R.**

**Miravé, J.P.**

Responsable de esta publicación

**Unidad Integrada Balcarce**

La Unidad Integrada Balcarce funciona mediante un convenio entre el INTA (Estación Experimental Agropecuaria Balcarce) y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Mar del Plata.

La reproducción total o parcial de esta publicación será autorizada previa solicitud por escrito a **INTA**. CC 276. 7620 Balcarce, o al fax 0266-21756.

Revisor de esta obra

**Dr. Sergio A. Uhart**

Designado por el Departamento de Agronomía de la EEA Balcarce.

**ISBN** 950-9853 71-2

Primera edición: Agosto de 1996

Primera impresión: 700 ejemplares

**Primera reedición corregida (en formato digital):  
Octubre de 2001**

Impresión

**Offset Vega** de Norberto J. Vega

Bolívar 3715. 7600 Mar del Plata

Buenos Aires. Argentina

## **Los autores.**

### **Luis A. N. Aguirrezábal.**

Se graduó como Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional de Mar del Plata. Realizó sus estudios de posgrado en Francia, donde obtuvo su Diploma de Estudios Avanzados (D.E.A.) en Producción Vegetal, otorgado conjuntamente por el Instituto Nacional de Agronomía de Paris-Grignon y la Universidad París XI (Orsay). Su tesis para la obtención del grado académico de Doctor (Universidad Blaise Pascal de Clermont Ferrand) versó sobre el crecimiento del sistema radical del girasol y su modelado. Se desempeña en la actualidad como profesor adjunto de Fisiología Vegetal en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP), interesándose principalmente sobre efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento, rendimiento y la calidad del girasol.

### **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 (EEUU). Es profesor titular en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur y miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ha sido recientemente incorporado a la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria como Académico Correspondiente. Desarrolla sus investigaciones actuales en temas vinculados con la nutrición mineral de las plantas superiores, ácidos húmicos y la fisiología del rendimiento.

## **Luis F. Hernández.**

Egresó como Ingeniero Agrónomo del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del 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. Actualmente se desempeña como Profesor Titular 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). Sus trabajos de investigación se vinculan con la morfogénesis floral y la morfología y anatomía de plantas de cultivo, así como sobre la fisiología del rendimiento.

## **Victor R. Pereyra.**

Es Ingeniero Agrónomo, título recibido en la Universidad Nacional de la Plata. Desde 1968 es investigador del INTA. Habiéndose desempeñado primeramente en proyectos de investigación en el programa Trigo en la Chacra Experimental de Barrow, desde 1975 trabaja en la E.E.A. Balcarce en actividades relacionadas con el programa Girasol. Especialista en manejo y en sanidad de este cultivo, ha participado también en diversas experimentaciones sobre productividad, mejoramiento genético y fisiología de girasol. Actualmente dedica además gran parte de su tiempo a la coordinación de las actividades de investigación sobre girasol que se realizan en la Unidad Integrada Balcarce, y a la elaboración y gestión de proyectos que se efectúan en la misma en combinación con otros sectores vinculados al cultivo (semilleros, fábricas de aceite, etc.)

## **Juan P. Miravé.**

Es Ingeniero Agrónomo, egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Se desempeñó como docente e investigador en la Universidad Nacional del Sur, obteniendo a su vez el grado de Magister Scientiae en Producción Vegetal. En 1988 regresó a la Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce, desempeñándose como profesor adjunto de Fisiología Vegetal con dedicación parcial. Fue Decano de dicha unidad académica entre 1990 y 1993. Ejerció también otros cargos de gestión universitaria de relevante importancia. Sus principales disciplinas de investigación son la nutrición mineral y la relación suelo-planta.

# Agradecimientos.

Se agradece la minuciosa revisión y las sugerencias del Dr. Sergio A. Uhart (Unidad Integrada E.E.A. INTA Balcarce-U.N.M.P)

La edición y diseño gráfico del trabajo fue realizado por el Sr. Gustavo Pereyra Irujo quien demostró gran entrega y dedicación para dicha tarea. La Srta. Natalia Izquierdo revisó la bibliografía y el Ing. Agr. Guillermo A.A. Dosio colaboró en la corrección del manuscrito.

Se desea además expresar el agradecimiento de los autores a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para poder obtener la información recopilada en esta obra. Entre ellos, se desea citar especialmente al Ing. Agr. Francisco Cardinali. Se reconoce también el apoyo de las instituciones que financiaron las investigaciones que dan basamento al mismo, entre las que mencionamos: Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Universidad Nacional del Sur, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

## **Finalidad de esta obra.**

El objetivo de producción en el cultivo de girasol oleaginoso es, a partir de la utilización adecuada de los recursos disponibles, lograr los mejores rendimientos en grano y los mayores porcentajes de aceite.

Las decisiones para el mejor aprovechamiento de los recursos genéticos y ambientales, requieren de un buen conocimiento de la fisiología de la planta y del cultivo. Esta obra tiene como objetivo ayudar a comprender los procesos fisiológicos que determinan el rendimiento del cultivo de girasol, brindando los conocimientos básicos que permitan optimizar su manejo. La información utilizada en la misma proviene fundamentalmente de los estudios realizados, en los últimos quince años, por el grupo de trabajo en girasol que integran investigadores procedentes de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP), de la E.E.A. INTA Balcarce y del Departamento de Agronomía (UNS).

Esta obra está especialmente destinada a profesionales de la agronomía y disciplinas afines, así como a estudiantes de los últimos cursos de estas carreras. Es deseo de los autores que la misma pueda contribuir a paliar la escasez y poca actualización de la bibliografía que existe en lengua castellana sobre el tema tratado.

# Introducción.

El ADN posee la información necesaria para que una planta pueda convertir energía radiante en energía química y para que esa energía química sea aprovechada para convertir compuestos inorgánicos simples ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) en complicados compuestos orgánicos. La “habilidad” de las células de las plantas para leer el mensaje escrito en el ADN e interpretarlo bajo distintas condiciones ambientales, puede ser manejada no sólo genéticamente (mejoramiento vegetal), sino también por medio de modificaciones del ambiente en que crecen las plantas (labores culturales, preparación del suelo, época de siembra, densidad y geometría de siembra, fertilización, control de malezas, cultivo bajo cubierta, etc.).

Estas modificaciones del ambiente pueden inducir cambios en la cantidad y en la forma de la masa radical y de la superficie foliar. Dichos cambios, pueden alterar sustancialmente la capacidad de cada planta para utilizar la energía lumínica y los compuestos inorgánicos disponibles con la finalidad de crear una masa de materia orgánica. Si como en el caso del girasol, el objeto del cultivo es el de aprovechar solo una parte de esa masa, los frutos, se introducen más complicaciones al sistema:

*¿Cómo y cuándo se construye y distribuye la masa orgánica?*

*¿Cuánto es acumulado en los frutos?*

*¿Cuánto es utilizado para producir aceite?*

Las respuestas a estas preguntas son fundamentales para comprender la fisiología del rendimiento del girasol. Se intentará por lo tanto responder las mismas en las secciones 2 a 7. Para ello se introducirán en la sección 1 los componentes del rendimiento del cultivo, las etapas del mismo en que éstos se determinan y los principales factores ambientales que los afectan, así como la conveniencia de utilizar este tipo de análisis como herramienta para adecuar el manejo del cultivo.

# 1. El rendimiento y sus componentes.

El rendimiento del girasol (peso de frutos por unidad de superficie) puede ser dividido en diferentes componentes (Figura 1a). Estos componentes son: el número de capítulos por unidad de superficie, el número de frutos llenos por capítulo y el peso individual de esos frutos. El número de capítulos por unidad de superficie depende principalmente de la densidad del cultivo (plantas por hectárea), mientras que el número de frutos llenos por capítulo es el resultado del número de flores producidas que son fecundadas y del número de flores fecundadas que cuajan y producen frutos, es decir, que no abortan (Figura citada).

En el caso específico del girasol, la meta del cultivo es el rendimiento en aceite por unidad de superficie, resultante del peso de frutos por unidad de superficie y de la concentración de aceite de estos frutos (porcentaje de aceite, Figura 1b). En nuestro país el peso de aceite por unidad de superficie no es recompensado, en sentido estricto, desde el punto de vista comercial, sino que al precio que recibe el productor por kilo de frutos se le aplican bonificaciones y/o rebajas de acuerdo al porcentaje de aceite de los mismos con relación a un porcentaje “base de comercialización” (Figura 1c). Por esta causa, en este trabajo se considerará principalmente el peso de frutos por unidad de superficie y su porcentaje de aceite como metas del cultivo.

## 1.1. Los componentes del rendimiento se definen en distintos momentos del ciclo.

Los distintos componentes del rendimiento son determinados en diferentes estadíos del cultivo. Así por ejemplo, el número

a) Componentes del rendimiento en grano

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ de flores}}{\text{capítulo}} \times \% \text{ de fecundación} = \text{n}^\circ \text{ de flores fecundadas}$$

$$\% \text{ de cuajado} = 100 - \% \text{ de aborto}$$

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ de flores fecundadas}}{\text{capítulo}} \times \% \text{ de cuajado} = \text{n}^\circ \text{ de frutos llenos}$$

$$\text{Rendimiento por superficie (kg/ha)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de capítulos}}{\text{superficie (ha)}} \times \frac{\text{n}^\circ \text{ de frutos llenos}}{\text{capítulo}} \times \text{peso promedio individual de los frutos (g)}$$

b) Rendimiento en aceite

$$\frac{\text{peso de aceite (g)}}{\text{superficie (ha)}} = \frac{\text{peso de frutos (g)}}{\text{superficie (ha)}} \times \frac{\% \text{ de aceite}}{100}$$

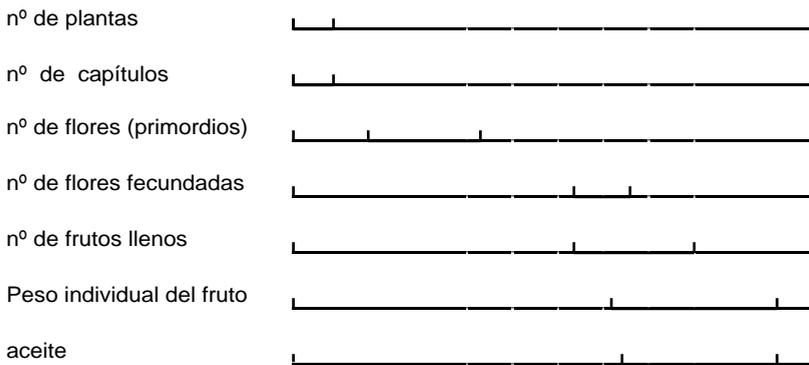
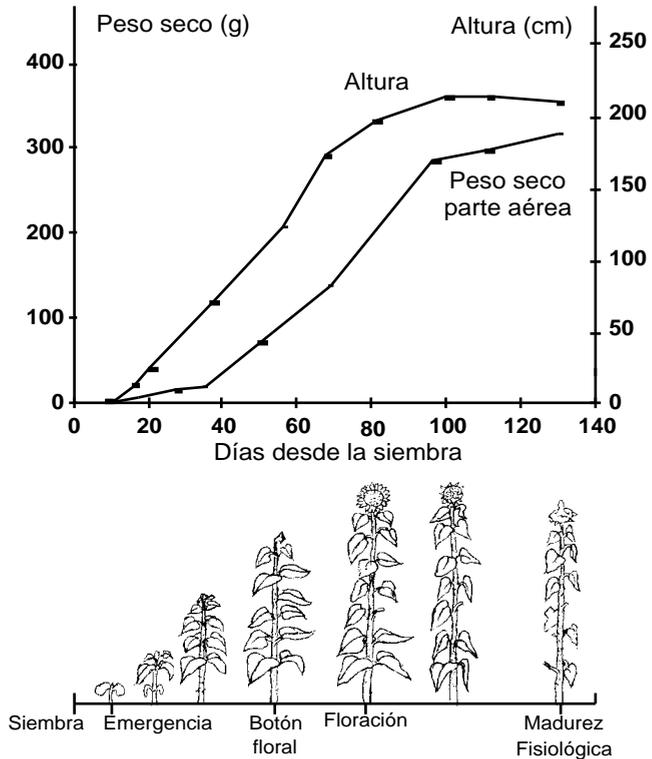
c) Rendimiento ajustado

$$\frac{\text{peso de frutos (g)}}{\text{superficie (ha)}} \text{ajustado} = \frac{\text{peso de frutos (g)}}{\text{superficie (ha)}} + \left[ \frac{\text{peso de frutos}}{\text{superficie (ha)}} \times \left( \frac{\% \text{ de aceite} - 42}{100} \right) \right] \cdot 2$$

*Figura 1. a) Componentes del rendimiento en grano del girasol (peso de frutos por unidad de superficie). b) Componentes del rendimiento en aceite (peso de aceite por unidad de superficie). c) Rendimiento en grano por unidad de superficie ajustado por el porcentaje de aceite de acuerdo a la reglamentación comercial vigente 1996. Se aplica un 2% de bonificación o descuento en el precio sobre la diferencia entre el % de aceite obtenido y 42%, base de comercialización.*

de primordios florales por capítulo se determinan en estadíos tempranos del cultivo (entre 30 y 50 días después de la siembra, Figura 2). El número de flores que son fecundadas es determinado durante la floración. El número de frutos que cuajan y se transforman en un fruto lleno comienza a fijarse poco tiempo después de la floración, pudiendo producirse abortos hasta más de 15 días después de finalizada la misma. El período durante el cual se determina el peso individual de los frutos comienza después del cuajado de los mismos y se extiende hasta la madurez fisiológica. También durante este período se determina el porcentaje de aceite (aunque con un pequeño retardo al comienzo con relación al peso individual de los frutos).

El número de capítulos por unidad de superficie resulta del número de plantas por unidad de superficie capaces de desarrollar una inflorescencia. Dicho componente del rendimiento depende por lo tanto del número de semillas por unidad de superficie que son sembradas y de la proporción de éstas que germinan, emergen, crecen y se desarrollan. El período durante el cual este componente del rendimiento se define es, en relación a los otros componentes, más extenso. Sin embargo, es en los primeros períodos de la vida de la plántula (la germinación y la emergencia) cuando el número de plantas capaces de desarrollar un capítulo es principalmente fijado (Figura 2). Las pérdidas posteriores de plantas o de capítulos son menos frecuentes, produciéndose en casos de ataques de enfermedades (por ejemplo de *Sclerotinia* sp.) o por quebrado o vuelco.



**Figura 2.** Evolución del peso seco y de la altura de la parte aérea en función del tiempo después de la siembra de un híbrido de ciclo intermedio, y períodos del ciclo del cultivo durante los cuales se definen los componentes del rendimiento.

## 1.2. ¿Por qué considerar los componentes del rendimiento?

Los componentes del rendimiento se definen en diferentes estadios fenológicos. Las condiciones ambientales, variables a lo largo del ciclo del cultivo, afectan el rendimiento a través de distintos componentes. Además, el efecto de un mismo factor ambiental puede afectar a un componente con diferente intensidad que a otros. Puede también existir compensación entre diferentes componentes del rendimiento. Por ejemplo, como será expuesto extensamente más adelante (ver sección 4), una reducción del número de capítulos por unidad de superficie puede no ocasionar una reducción del rendimiento debido a un incremento del número de frutos por planta y/o del peso individual de los frutos.

Conocer el momento en que se definen los distintos componentes del rendimiento y el efecto de los factores ambientales sobre los mismos, puede ayudar a detectar los “estadios críticos” en la definición del rendimiento. Esto puede servir para adecuar el manejo del cultivo con miras a evitar o minimizar las situaciones de “estrés” por efecto ambiental durante dichos períodos. A través de la correcta aplicación de prácticas agronómicas (fecha de siembra, densidad de siembra, ciclo del cultivar, etc.), es posible adecuar la oferta de los factores ambientales que pueden limitar principalmente el rendimiento de los cultivos (radiación solar, temperatura, agua y nutrientes minerales) a los momentos de mayor demanda de los mismos.

En las secciones siguientes, se analizará por lo tanto en detalle la definición de los componentes del rendimiento. La determinación del número de plantas por unidad de superficie será tratada en la sección 2: “La implantación del cultivo”. La definición del número de flores por capítulo se considerará en la sección 5: “Desarrollo del órgano cosechable”. En la sección 6: “La acumulación y partición de la materia seca producida”, se desarrolla la determinación del número de frutos

lentos por capítulo, el peso individual de los mismos y, en menor extensión, del porcentaje de aceite. Dada la escasa atención que este último componente ha recibido en general en la bibliografía, la sección 7 “La calidad del fruto producido” trata especialmente sobre el determinismo del porcentaje de aceite. El efecto de factores ambientales sobre los componentes del rendimiento es incluido al tratar estos temas. La absorción del agua y los nutrientes minerales y la intercepción de la energía lumínica serán especialmente tratados en la sección 3: “La absorción del agua y los nutrientes minerales”, y en la sección 4: “La intercepción de la radiación lumínica”.

## 2. La implantación del cultivo.

La semilla de girasol (botánicamente, un fruto denominado aquenio), es un fruto seco, uniseminado, con pericarpio (cáscara) separado de la verdadera semilla (pepita). Para que esta semilla dé origen a una planta deben ocurrir numerosos procesos. En una primera etapa el fruto debe embeberse en agua, movilizar sus reservas y la radícula debe crecer hasta atravesar las cubiertas seminales y el pericarpio, finalizando así, en sentido estricto, el proceso de germinación. El hipocótilo del embrión debe luego alargarse y sacar los cotiledones a la superficie del suelo (emergencia de la plántula). Hasta dicho estadio, el crecimiento es soportado por la energía proveniente de la degradación de las reservas seminales. Luego, la plántula debe convertirse en organismo autótrofo, obteniendo a partir de la energía lumínica y mediante la fotosíntesis, la energía química para mantenerse y crecer.

La germinación y la emergencia de las plántulas deben producirse en forma rápida y uniforme, para obtener así un conjunto de plantas similares en tamaño y con una distribución por unidad de superficie que permita explotar óptimamente los recursos ambientales. Para lograr este objetivo es fundamental conocer la viabilidad, el poder germinativo y el vigor de los frutos<sup>1</sup> a sembrar como también el efecto de los principales factores ambientales que pueden afectar principalmente la germinación y la emergencia de las plántulas: la humedad y la temperatura del suelo.

### 2.1. La imbibición del fruto es poco afectada por la temperatura.

El proceso de imbibición consiste en la incorporación de agua al fruto seco. La fuerza impulsora es una diferencia de potencial agua,

---

<sup>1</sup> Las diferencias o relaciones entre viabilidad, poder germinativo, energía y vigor, como también las formas de determinar cada uno, se describen en el anexo 1 de este trabajo.

fundamentalmente originada por la presencia de sustancias de reserva (por ejemplo, proteínas) en el fruto, las que generan fenómenos de absorción de las moléculas de agua en su superficie. La duración de este proceso depende especialmente de la humedad disponible, es poco influida por la temperatura y es independiente de la profundidad a que esté colocado el fruto. La imbibición es un proceso netamente físico. Por esta causa tanto frutos “vivos” o “muertos” pueden embeberse.

Si el fruto está vivo, la germinación, comienza inmediatamente después de la imbibición cuando la temperatura del suelo es menor a 20°C e incluso antes, a temperaturas superiores a 20°C. En este último caso, la “incorporación” de agua es determinada también, a medida que continúa el proceso, por la degradación de las sustancias de reserva (de elevado peso molecular) que resultan en un aumento de sustancias de mayor actividad osmótica (por ejemplo hidratos de carbono de bajo peso molecular). Esta degradación es un proceso biológico, lo que explica por qué sólo los frutos “vivos” pueden completar el proceso de germinación.

A temperaturas inferiores a 8°C prácticamente no se produce la emergencia radicular. Entre los 8 y 12°C la emisión de la radícula se produce lentamente e inclusive puede que muchas de las “semillas” de un lote no germinen. Entre 12 y 15°C se generaliza la germinación, pero recién a temperaturas superiores a 15°C, ésta es más uniforme y rápida.

## **2.2. Temperatura base y sumas de grados día para la germinación y la emergencia.**

Algunas semillas de variedades o híbridos de girasol pueden germinar a partir de los 4°C de temperatura. Sin embargo, es más generalizado el criterio de utilizar temperaturas algo mayores para tomar como base del crecimiento o del desencadenamiento de los procesos biológicos (temperatura base). Dicha temperatura base, es habitualmente calculada por ajuste estadístico a partir de resultados obtenidos experimentalmente.

La diferencia entre la temperatura media del día y la temperatura base considerada, es la cantidad de grados día “útiles para el crecimiento” para ese día, y es utilizada como índice. La suma de estos índices se ha relacionado positivamente con el crecimiento. Aplicando este concepto en relación a la germinación de híbridos franceses, se determinó estadísticamente que para que se produzca la emisión de la radícula, rompiendo las cubiertas seminales, se necesita una acumulación de 20°C-día sobre la temperatura base de 8,5°C (Merrien y Aguirrezábal, resultados no publicados). Esto significa que si la temperatura media del día es de 12,5°C se necesitan cinco días para que la radícula atraviese las cubiertas, mientras que si la temperatura media de los días involucrados es de 18,5°C, se necesitarán sólo dos días. Sembrando a campo el híbrido francés “Ludo”, con profundidad de siembra a cuatro centímetros y cama de siembra con humedad adecuada, la emergencia se produjo 50°C-día después de la germinación.

En base a lo expresado, puede deducirse que no es conveniente sembrar con una temperatura promedio diaria del suelo a 5 cm de profundidad menor de 15°C, ya que el lapso de tiempo entre la siembra y la emergencia puede ser muy largo, aumentando el riesgo de pérdida de plántulas (por ejemplo, por ataques de insectos de suelo). Se ha demostrado estadísticamente que, en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, existe una gran probabilidad que esta temperatura del suelo de 15°C se produzca cuando la temperatura media del aire se estabiliza sobre los 16°C durante tres días. En el Sudeste de Buenos Aires, estas condiciones suelen producirse en años cálidos a mediados de octubre o postergarse hasta el 10 o 12 de noviembre en años frescos, siendo conveniente realizar las siembras apenas se producen dichas condiciones.

### **2.3. Influencia genética y de las condiciones de producción de los frutos utilizados como semilla.**

El genotipo de los frutos utilizados como semilla y las condiciones en que éstas fueron producidas pueden favorecer una mejor implantación. Se ha encontrado que plántulas originadas por frutos de diferentes híbridos de girasol, producidos en las mismas condiciones, emergieron hasta con dos días de diferencia en siembras a campo. Por otra parte, frutos de líneas endocriadas producidos en condiciones de temperaturas frescas germinaron más rápidamente que los de las mismas líneas producidos en condiciones más cálidas. Esta más rápida emergencia de las plántulas originadas de frutos producidos en condiciones de menor temperatura, explicó por qué los mismos poseían una mayor concentración de ácido linoleico (uno de los principales componentes del aceite de girasol).

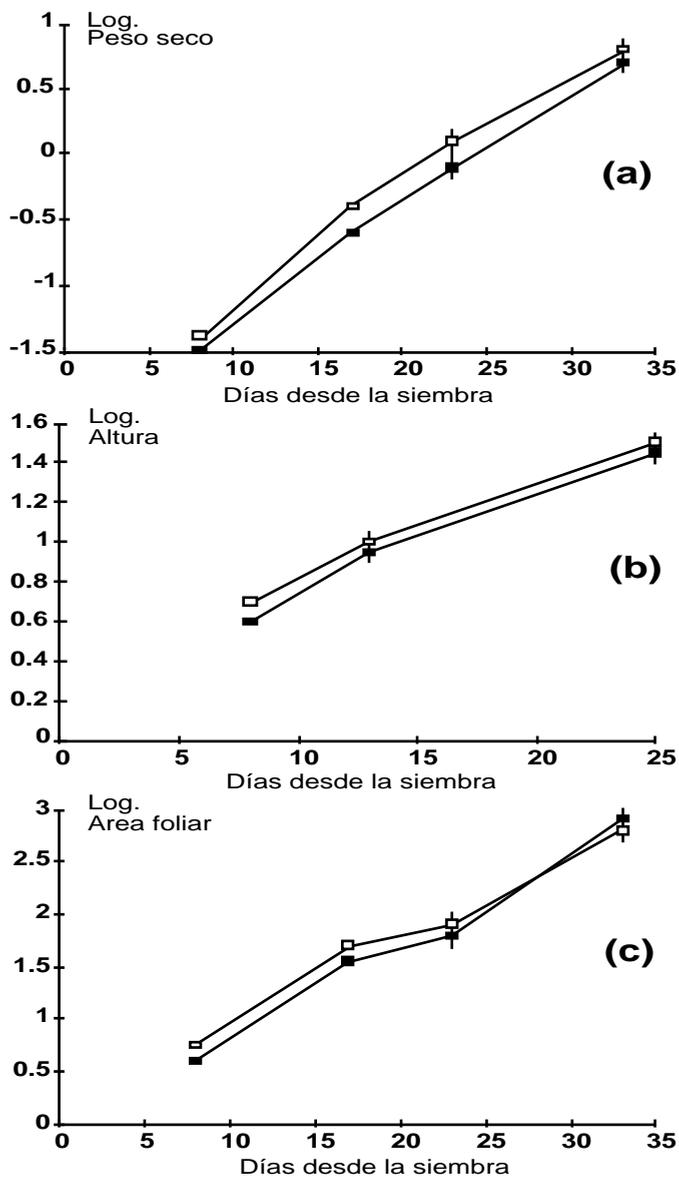
### **2.4. Efecto del tamaño de los frutos.**

En ensayos a campo, se observó que el tamaño de los frutos no afecta la velocidad de germinación ni la emergencia. Sin embargo, las plantas provenientes de semillas más pequeñas registraron menor área foliar, altura y peso seco que las de semillas más grandes durante los días siguientes a la emergencia (Figura 3). Estas diferencias en el crecimiento de las plantas desaparecieron posteriormente, sin afectar el rendimiento, en ensayos en los que se sembraron parcelas con semillas grandes y chicas por separado. En cambio, en siembras con semillas de diferentes tamaños mezcladas, la competencia entre plantas podría afectar el crecimiento de las plantas procedentes de semillas chicas cuando la densidad de siembra es alta. Por otra parte, si bien la germinación no fue afectada por el tamaño de los frutos, en condiciones de laboratorio, la velocidad de imbibición fue menor en frutos muy grandes, lo que puede ser debido a la mayor separación que estos poseen entre el pericarpio y la semilla. Esto podría ser desventajoso en condiciones de campo con

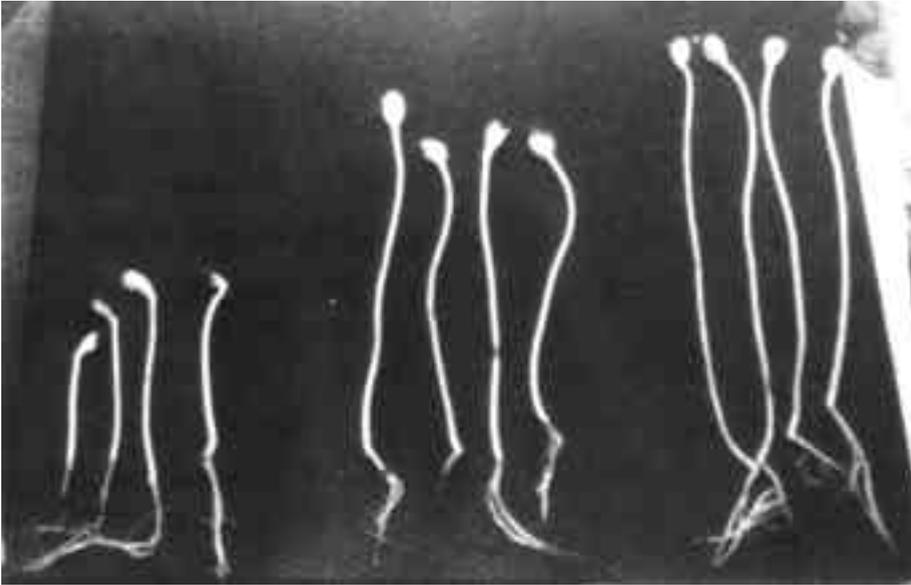
escasa humedad del suelo o con contacto suelo-semilla restringido, ya que al tardar más tiempo en embeberse, la duración del período siembra-emergencia sería mayor en las semillas más grandes.

## **2.5. Velocidad de alargamiento del hipocótilo y porcentaje de emergencia.**

Si el período que transcurre entre la siembra y la emergencia por algún motivo se prolonga, se incrementa la exposición de la plántula a riesgos ambientales, principalmente el ataque de plagas. En un experimento realizado con genotipos de diferente estatura en floración, se encontró que cuando la profundidad de siembra fue de 6 cm, el porcentaje de emergencia de un cultivar de baja estatura fue drásticamente reducido. El efecto negativo se incrementó a mayor profundidad de siembra (8 y 12 cm). Este bajo porcentaje de emergencia no se encontró relacionado con una baja longitud final del hipocótilo de plántulas germinadas en condiciones de laboratorio, ya que ésta fue mayor a 12 cm en todos los cultivares, ni a la energía o al poder germinativo de las mismos. En cambio, el cultivar de menor estatura mostró la más baja velocidad de alargamiento del hipocótilo (Figura 4). Esto sugiere que una baja velocidad de alargamiento del hipocótilo de la plántula recientemente germinada, es una de las causas que pueden ocasionar bajos porcentajes de emergencia, especialmente si las condiciones de siembra no son óptimas.



**Figura 3.** Influencia del tamaño de los frutos sobre a) el peso seco b) la altura y c) el área foliar de la plántula. Las semillas grandes (símbolos vacíos) y chicas (símbolos llenos) fueron sembradas a campo. Valores unidos por un trazo vertical no difieren significativamente ( $p < 0.05$ , tomado de Aguirrezábal 1986).



*Figura 4. Plántulas de tres híbridos de girasol de diferente altura (de derecha a izquierda 1,46m; 0.97m y 0.89m en floración respectivamente) 7 días después de la siembra. Las diferentes longitudes de los hipocótilos denotan las diferencias encontradas en la velocidad de alargamiento de los mismos (tomado de Aguirrezábal et al. 1994 b)*

## **2.6. Uniformidad del momento de emergencia de las plántulas y su relación con la competencia.**

La emergencia no sólo debe ser rápida sino también uniforme, ya que el momento de emergencia de las plántulas puede afectar también su desempeño posterior. Se observó que el área foliar, peso seco y altura de plántulas emergidas con 7 días de retardo fueron inferiores a las de plántulas emergidas inicialmente. Sin embargo, el efecto del retraso en la emergencia sobre el rendimiento por hectárea fue dependiente de la densidad de siembra ya que sólo se detectó una disminución a altas densidades. En esas condiciones, y, como será tratado más adelante, la competencia intraespecífica por la luz se manifiesta más temprano. A

densidades de siembra aconsejadas para el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, el rendimiento por unidad de superficie no fue afectado en este experimento, debido a la capacidad de compensación de los componentes del rendimiento que posee el girasol en un amplio rango de densidades. En efecto, el rendimiento por planta de aquellas emergidas inicialmente (el día 1) compensó el menor rendimiento de las plantas emergidas el día 7. Sin embargo, esto podría no ocurrir bajo condiciones climáticas y/o edáficas menos favorables que las presentes durante dicho experimento, lo que sugiere la importancia de obtener una emergencia pareja.

## **2.7. Es fundamental asegurar la densidad y la distribución de plantas.**

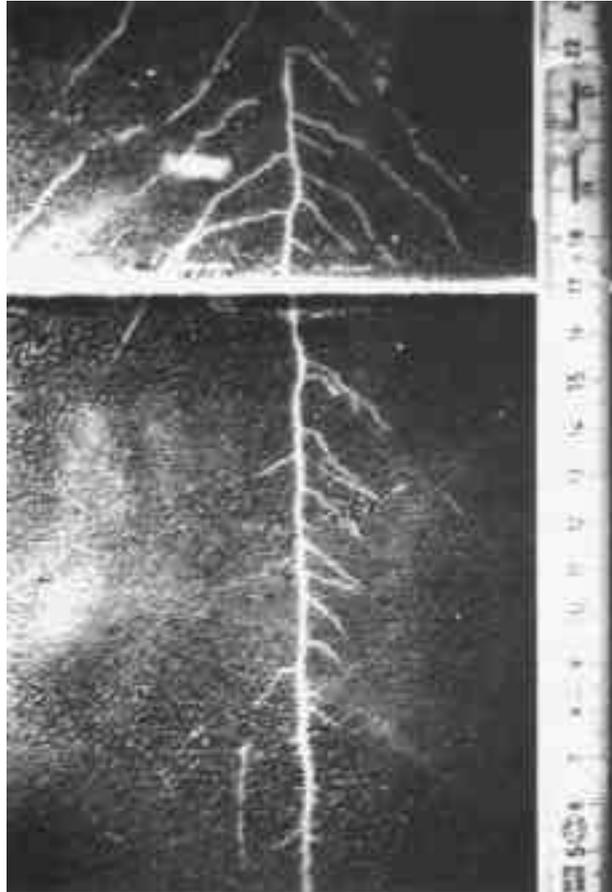
Como ya se anticipó en la introducción de este capítulo, una de las condiciones que deben cumplirse para asegurar un óptimo uso de los recursos es concretar un stand de plántulas distribuidas uniformemente, a la densidad planeada. Esta condición puede lograrse con una buena preparación de la cama de siembra (humedad y densidad de suelo adecuada), temperatura del suelo superior a 15°C, semilla uniforme en tamaño, de buen vigor, energía y poder germinativos, y finalmente, una labor de siembra que asegure una correcta colocación de la semilla y del fertilizante.

## **3. La absorción del agua y los nutrientes minerales.**

La planta transforma compuestos simples ( $\text{CO}_2$ , agua, nutrientes minerales) en los compuestos orgánicos complejos que constituyen su materia verde, las reservas y sus tejidos estructurales. Mientras que el  $\text{CO}_2$  es captado por la parte aérea a través de los estomas, el sistema radical constituye la principal vía de absorción del agua y de los nutrientes minerales.

### **3.1. Arquitectura del sistema radical.**

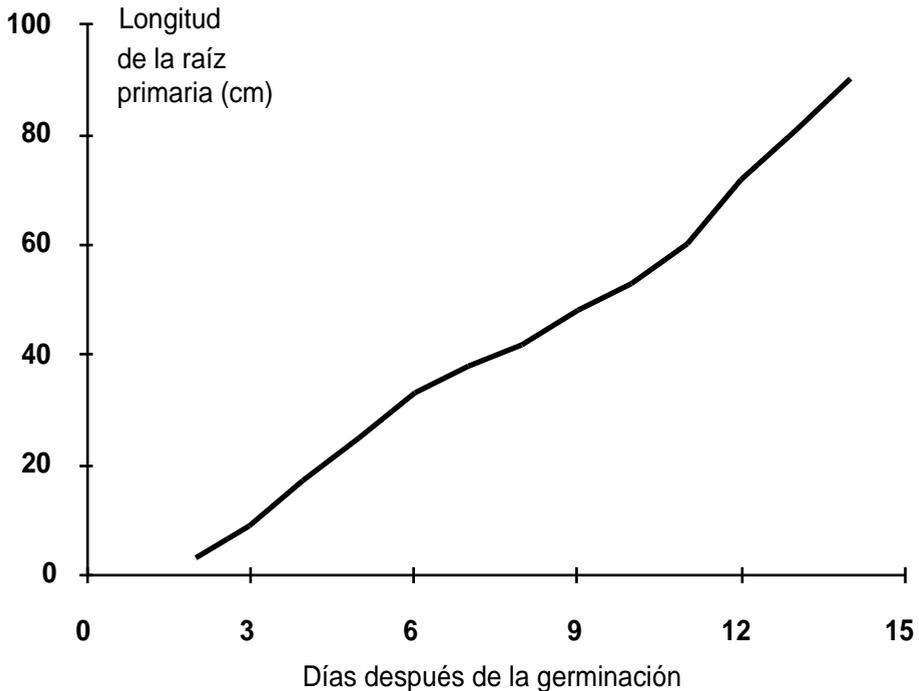
El sistema radical del girasol se encuentra constituido por un eje principal o raíz primaria y por ramificaciones (Figura 5). La raíz primaria está preformada en el embrión y crece verticalmente en profundidad mientras no encuentre un obstáculo mecánico que la desvíe. Las ramificaciones de la raíz primaria (raíces secundarias) son numerosas en cercanías del cuello de la planta, disminuyendo su densidad drásticamente a 15 cm del mismo. Las raíces secundarias pueden alcanzar una longitud similar a la de la raíz primaria. Las ramificaciones de orden superior (raíces terciarias y cuaternarias), si bien son numerosas, poseen individualmente una corta longitud. La colonización de nuevas zonas de suelo sería por lo tanto especialmente realizada a través del alargamiento de la raíz primaria y las raíces secundarias. El crecimiento de las raíces terciarias y cuaternarias permitiría explorar las zonas de suelo ya colonizadas, y tendrían en consecuencia un rol importante en la absorción de nutrientes poco móviles en el suelo.



**Figura 5.** Sistema radical de una plántula de girasol, 7 días después de la emergencia, observado a través de una ventana de acrílico instalada antes de la siembra. Se observa que la raíz primaria crece casi verticalmente. Las raíces secundarias son numerosas en cercanías del cuello de la plántula (tomado de Aguirrezábal 1993).

## 3.2. Crecimiento del sistema radical.

La raíz primaria es el primer órgano que atraviesa las cubiertas de la semilla en la germinación. Si las condiciones son favorables, ésta se alarga rápidamente (Figura 6).



*Figura 6.* Longitud de la raíz primaria de una plántula de girasol en función del tiempo después de la germinación. El alargamiento fue observado a través de una ventana de acrílico instalada antes de la siembra (tomado de Aguirrezábal 1993).

El crecimiento en longitud del sistema radical es rápido en comparación con el de la parte aérea. Así por ejemplo, en suelos con baja resistencia a la penetración por las raíces, el ápice de la raíz primaria puede encontrarse a 25-30 cm de profundidad cuando la parte aérea de la

planta termina de abrir los cotiledones y a 40-50 cm cuando ésta se encuentra en el estadio de dos hojas (Figura 7). Bajo condiciones favorables, las raíces pueden alcanzar (y absorber agua y nutrientes minerales) a profundidades mayores a los 2m.



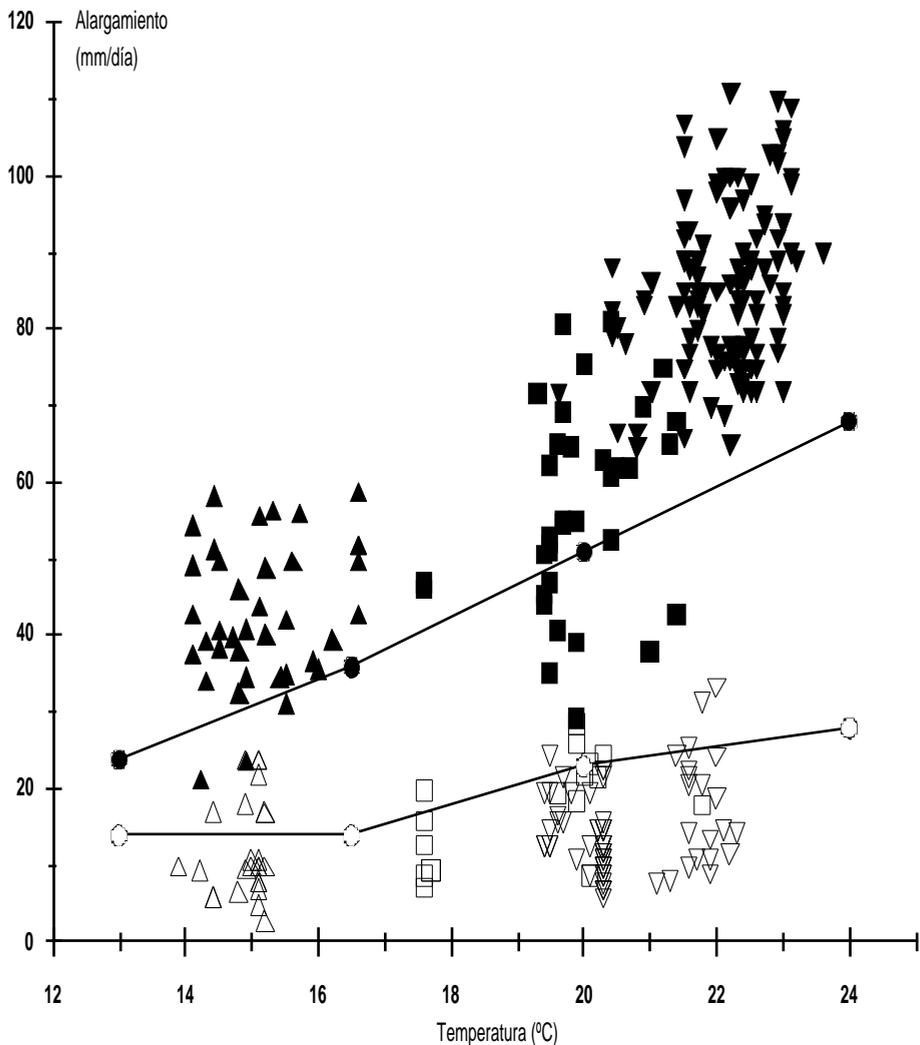
**Figura 7.** Sistema radical de una plántula de girasol cuya parte aérea se encontraba en el estadio de dos hojas, observado a través de una ventana de acrílico instalada antes de la siembra. Se destaca la profundidad de la raíz primaria (48 cm) en comparación con el desarrollo de la parte aérea (altura = 6,5 cm) (tomado de Aguirrezábal 1993)

Es remarcable que el gran crecimiento en longitud del sistema radical citado en el párrafo anterior, y el gran desarrollo que presentan las raíces en relación con el de la parte aérea durante la etapa de germinación a 10 hojas (ver por ejemplo la figura 7) no se corresponde con una elevada repartición del peso seco de las plántulas hacia el sistema radical. En experimentos realizados en solución nutritiva y en grandes contenedores de suelo colocados en el campo, la proporción del peso seco total de la plántula (parte aérea y sistema radical) que se encontró en las raíces tendió a disminuir con el transcurso del tiempo y representó menos del 30% del peso total. Sólo durante los 7 días que siguen a la germinación, se encontró en el sistema radical un 45% del peso seco de la plántula (la radícula es el primer órgano que crece luego del comienzo de la germinación, ver sección 2). Estos valores no fueron superados cuando las plántulas se cultivaron en cámara bajo diferentes temperaturas y/o irradiancias (tratamientos que alteran la relación peso seco sistema radical/peso seco total), y a campo en siembras en las que se registraron condiciones climáticas diferentes entre sí.

### **3.3. Efectos ambientales sobre el alargamiento radical.**

Diferentes factores ambientales pueden afectar el crecimiento del sistema radical del girasol, e incluso el desarrollo del mismo en relación con el de la parte aérea de la planta. El efecto de dichos factores puede ser, además, diferente en distintas etapas de la vida de la planta.

Durante el período comprendido entre la germinación y el estadio de dos hojas, la velocidad de alargamiento de la raíz primaria y, en menor medida, de las raíces secundarias de plantas sembradas a campo dependió de la temperatura del suelo (Figura 8). Siembras en suelos fríos podrían, por lo tanto, retardar la exploración del suelo por el sistema radical. Además, la capacidad de exploración del suelo puede ser afectada negativamente por un mal desarrollo del sistema radical durante la etapa



**Figura 8.** Efecto de la temperatura del medio rodeando el ápice de las raíces sobre el alargamiento de la raíz primaria (símbolos llenos) y de las raíces secundarias (símbolos vacíos). Las símbolos unidos por líneas representan el alargamiento de plántulas cultivadas en solución nutritiva, los símbolos no unidos el alargamiento de plántulas cultivadas a campo en diferentes fechas de siembra. Las plántulas se encontraban entre la germinación y el estadio de dos hojas. (tomado de Aguirrezábal y Tardieu 1996)

de implantación del cultivo. En efecto, si bien el crecimiento de las raíces del girasol continúa hasta por lo menos la etapa de botón floral, la arquitectura del sistema radical se define principalmente durante la etapa germinación-estadío de diez hojas. Una mala preparación del suelo puede, por lo tanto, afectar la capacidad posterior del cultivo para la absorción del agua y los nutrientes minerales.

Luego del estadío de dos hojas, y por lo menos hasta el estadío de diez hojas, el efecto de la temperatura sobre el alargamiento de las raíces es mucho menor que en etapas más tempranas. Durante este período, el crecimiento diario en longitud del sistema radical de plantas sembradas a campo, con buena disponibilidad de agua y nutrientes minerales, dependió principalmente de la radiación lumínica interceptada por las hojas el día precedente. Durante dicho período, la nutrición carbonada es por lo tanto, el factor que afecta principalmente el crecimiento radical en buenas condiciones culturales. Lamentablemente, es poco conocido el efecto del ambiente sobre el crecimiento de las raíces en etapas fenológicas posteriores. No existen tampoco trabajos que muestren cómo el estado hídrico del suelo, la resistencia del suelo a la penetración de las raíces y el efecto de la localización de los nutrientes minerales pueden afectar el crecimiento y la morfología del sistema radical y por lo tanto determinar en gran parte la capacidad del mismo para absorber el agua y los nutrientes minerales.

### **3.4. Transpiración y mecanismos de resistencia a la sequía.**

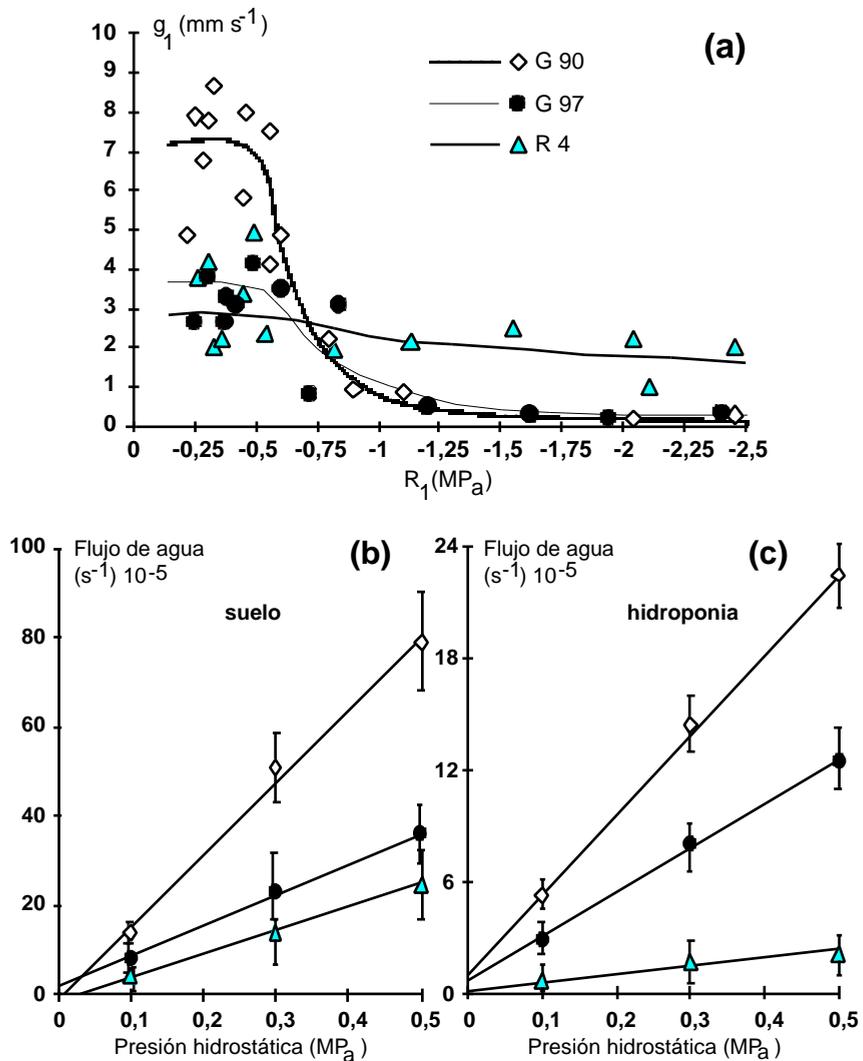
El girasol es una planta capaz de transpirar abundantemente en situaciones de disponibilidad hídrica no limitantes. Esta característica es explicada por la gran capacidad de exploración de su sistema radical, capaz de absorber el agua de horizontes profundos en suelos sin limitación a la penetración de las raíces, la gran superficie foliar

transpirante y las bajas resistencias al transporte de agua a través de la planta.

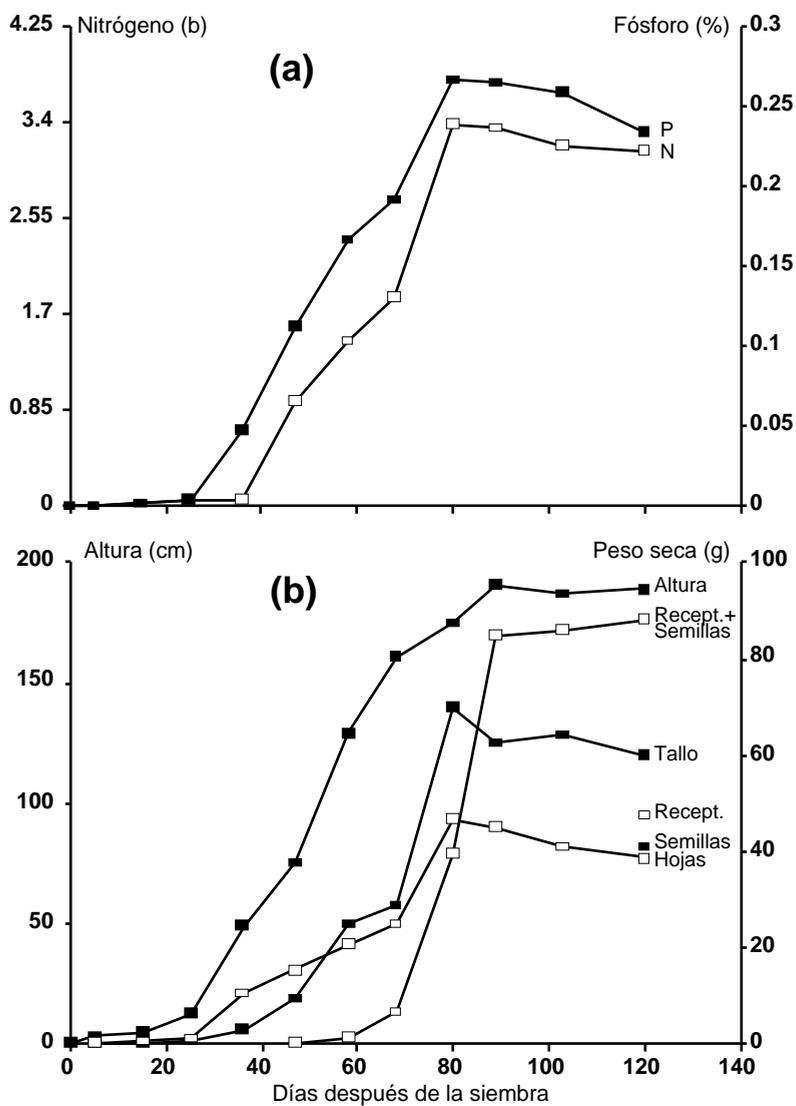
Esta especie posee mecanismos de adaptación a los déficits hídricos, tanto a corto como a largo plazo. Por ejemplo, una reducción de la apertura de los estomas del girasol afecta más la transpiración que la fotosíntesis (si bien transpira menos, el CO<sub>2</sub> fluye igualmente hacia el cloroplasto). El efecto de un déficit hídrico en la etapa vegetativa del cultivo puede reducir en forma importante la superficie transpiratoria, disminuyendo el área foliar principalmente a través de una disminución en la tasa de expansión de las hojas, y en menor medida, en la tasa de aparición de las mismas. Un déficit hídrico en la etapa de posfloración reduce por su parte la superficie transpiratoria a través de una aceleración de la senescencia de las hojas. Existe variabilidad genética intraespecífica en algunas de las características ligadas con la adaptación a los déficits hídricos. Así por ejemplo, se encontró que el efecto de un déficit hídrico sobre la resistencia estomática fue diferente en distintos genotipos. Importantes diferencias entre genotipos en la conductividad hidráulica de las raíces también fueron encontradas (Figura 9). Dicha variabilidad genética podría ser aprovechada para producir cultivares resistentes a la sequía.

### **3.5. Absorción de nitrógeno y fósforo.**

La mayor absorción de nitrógeno y de fósforo se concentra en los 30-35 días que preceden a la floración, durante la etapa de gran crecimiento del cultivo, absorbiendo aproximadamente el 75% del nitrógeno total y el 60% del fósforo (Figura 10). Estos resultados deberían ser tenidos en cuenta para determinar el momento de realizar la fertilización del cultivo.



**Figura 9.** a) Conductividad foliar ( $g_1$ ) versus potencial agua de la hoja ( $R_1$ ) de tres genotipos de girasol crecidos en condiciones de invernáculo, b) Flujo de agua obtenido en tres genotipos de girasol luego de aplicar presión hidrostática al sistema radical de plantas cultivadas en suelo y c) Idem b) en condiciones de hidroponia (tomado de Hernández y Orioli 1985 b).



*Figura 10. a) Acumulación de nitrógeno y fósforo total y b) Acumulación de materia seca en los distintos órganos y crecimiento en altura de una planta de girasol (tomado de Orioli et al. 1977).*

El rendimiento del cultivo no fue afectado por la fertilización con nitrógeno y fósforo en la mayor parte de nuestros experimentos y/o encuestas. La cantidad de nitrógeno y fósforo disponibles en la mayoría de los suelos del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires parece, por lo tanto, ser suficiente para la obtención de los máximos rendimientos zonales, aún en cultivos con aplicación de un elevado nivel tecnológico.

La disponibilidad del nitrógeno del suelo fue capaz de soportar la máxima tasa de crecimiento de cultivos regados en experimentos realizados en suelos de Balcarce que no habían sufrido un elevado número de años de agricultura. Esto fue confirmado cuando se comparó el porcentaje de nitrógeno en la materia seca de las plantas de los citados experimentos con las curvas de dilución del nitrógeno en la materia seca establecidas por otros autores. Los resultados obtenidos, así como una descripción de la metodología utilizada y de las posibles ventajas de su aplicación, son desarrolladas en el anexo 2 de este trabajo. Es necesario aclarar, sin embargo, que en condiciones de alta demanda del cultivo (alta tecnología, riego, zonas con alta radiación incidente y sin enfermedades, etc.) y/o donde la oferta del suelo sea baja en nitrógeno (suelos arenosos, siembra directa, muchos años de agricultura) pueden lograrse respuestas importantes, por lo que la aplicación de fertilizante nitrogenado no debería descartarse “a priori”.

Mientras que los cultivos de girasol no mostraron una respuesta efectiva a la fertilización nitrogenada en el sudeste de Buenos Aires, efectos significativos de la fertilización fosforada sobre el rendimiento, sólo fueron detectados en suelos con muy baja disponibilidad de fósforo y colocando el fertilizante a 15-20 cm de profundidad. De todas maneras, se ha observado un mayor ritmo de crecimiento de las plantas individuales durante de sus primeros estadíos cuando se aplica fertilizante fosforado como “arrancador”. En este caso, se entiende como “arrancador” cuando el fertilizante, generalmente 30-40 kg/ha de 18-46-0, es aplicado por debajo de la semilla en el momento de la siembra. Así

entonces, en suelos con suficiente humedad más el aporte de fósforo y nitrógeno abundantemente disponibles cerca de las plántulas, se conforma un ambiente que afecta positivamente el crecimiento y desarrollo de las mismas.

La disponibilidad de información sobre fertilización en girasol comparada con la que existe en trigo o maíz, sugiere que el uso de fertilizantes en cantidades mayores a las usadas como “arrancador” debería analizarse caso a caso. Así, por ejemplo, una fertilización nitrogenada en suelos donde la disponibilidad es alta no producirá un mayor crecimiento del cultivo, produciendo un consumo “de lujo” (tal como es sugerido en el anexo 2). Por otra parte, aún cuando la fertilidad potencial sea alta podría ser oportuno aplicar nitrógeno para compensar una disponibilidad actual baja (por ejemplo, siembra directa).

Es de destacar que ensayos de fertilización en la zona del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires dan en general como resultado una baja respuesta del girasol a los fertilizantes. No debemos olvidar sin embargo que el rendimiento del girasol depende la disponibilidad de agua y nutrientes minerales, y por lo tanto, de los aportes de los mismos a partir del suelo y/o por riego o fertilización. En consecuencia, el impacto de los déficits hídricos y minerales sobre la performance final de la planta dependerá, no sólo de la intensidad y duración de la deficiencia, sino también de la etapa fenológica del cultivo. En efecto, como se vio en la sección 1, diferentes componentes del rendimiento (número de frutos, peso de los frutos, etc.) son fijados en distintos momentos del ciclo. Los déficits hídricos y minerales afectarán, por lo tanto, diferentes componentes del rendimiento, y estos efectos pueden o no ser compensados por los otros componentes del rendimiento. Esto resalta la importancia de predecir a través de las herramientas disponibles (estudios bioclimáticos, análisis de suelos, etc.) la capacidad del clima y el suelo para aportar la nutrición hídrica y mineral que permita lograr los rendimientos y porcentajes de aceite planeados, y de adecuar el manejo del cultivo con objeto de poder alcanzarlos.

## 4. La intercepción de la radiación lumínica.

La energía química que la planta utiliza para crecer y mantenerse es proveniente de la energía lumínica, transformada a través de la fotosíntesis (Figura 11). Esto explica la estrecha relación lineal que se ha encontrado en numerosos cultivos (incluyendo al girasol) entre la cantidad de radiación lumínica interceptada por la planta y su crecimiento en peso seco.

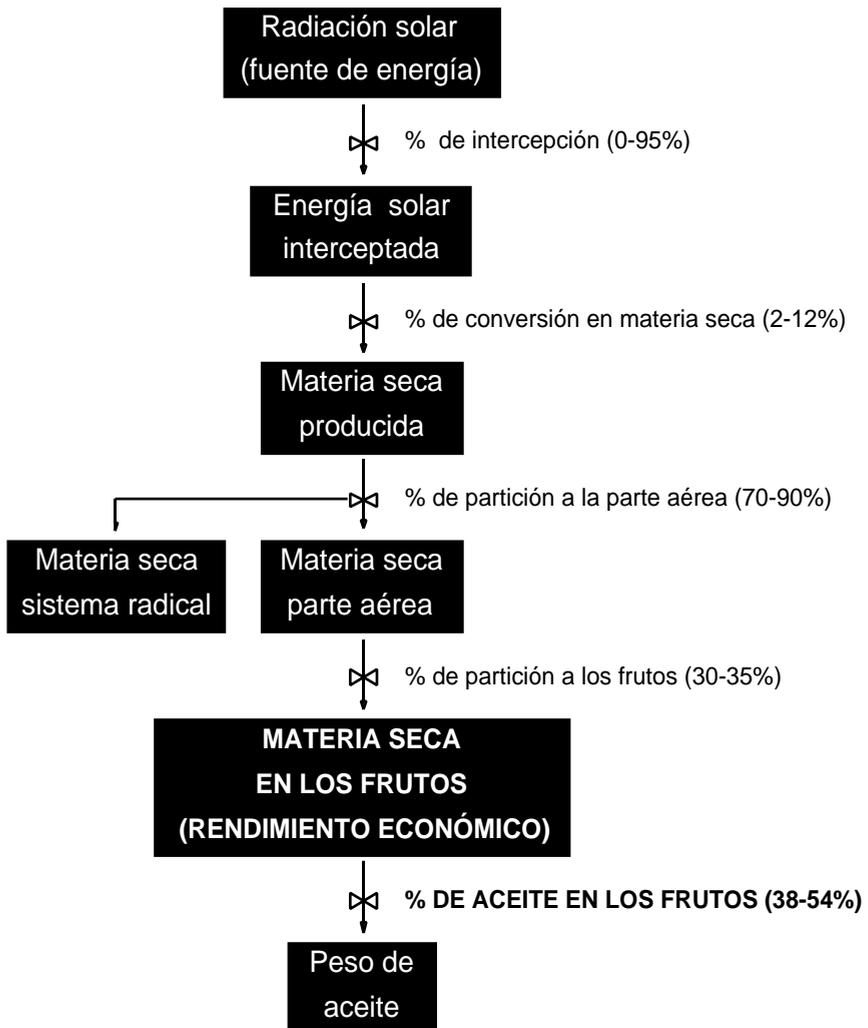
La fotosíntesis total del cultivo depende principalmente de dos componentes:

I) La superficie verde del cultivo capaz de captar la energía lumínica (capacidad de interceptar la radiación solar incidente a través del follaje verde).

II) La actividad de su aparato fotosintético por unidad de superficie verde del cultivo (capacidad para convertir la radiación interceptada en asimilados, es decir, en energía química)

*¿Podemos modificar, ya sea genéticamente o mediante el manejo del cultivo, alguno de los dos componentes de la fotosíntesis total con miras a aumentar la cantidad total de asimilados (energía química) que es producida por la planta, y por ese camino aumentar el rendimiento?*

## Utilización de la radiación solar en el girasol



*Figura 11.* Aprovechamiento de la radiación solar por el cultivo de girasol. Los valores de porcentaje de partición a los frutos y de porcentaje de aceite incluidos son resultados comunmente encontrados en madurez fisiológica.

## 4.1. La actividad del aparato fotosintético.

La planta de girasol es una planta Carbono 3 ( $C_3$ )<sup>2</sup>, tanto anatómica como bioquímicamente. Sin embargo, la respuesta de su aparato fotosintético a la intensidad lumínica y a la temperatura es bastante similar a la de una planta  $C_4$ . Por ello, si se compara la respuesta del trigo ( $C_3$ ) con la del girasol, frente a importantes aumentos de intensidad lumínica, se observa que estos no producen aumento de fotosíntesis en trigo y sí lo realizan en girasol. La temperatura óptima de fotosíntesis en trigo es mucho menor que en girasol. Es conveniente aclarar que la tasa de fotosíntesis es muy difícil de modificar genéticamente, inclusive en trigo se ha observado que la tasa fotosintética de una variedad liberada en 1920 es mayor que la de una variedad actual.

## 4.2. La superficie foliar interceptora de la energía lumínica.

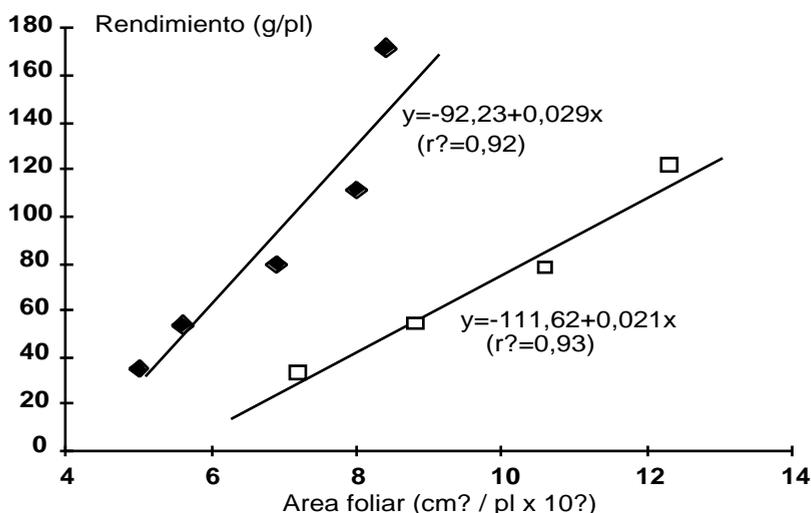
Según se dijo en el punto 4, el otro componente importante de la fotosíntesis total de la planta es la superficie verde que intercepta la energía lumínica. Como se expuso precedentemente, la actividad del aparato fotosintético del cultivo es muy difícil de modificar por mejoramiento. En cambio, la superficie foliar y su arquitectura pueden ser modificados, no sólo genéticamente, sino también, como veremos luego, a través del manejo del cultivo.

---

<sup>2</sup> Las plantas que mediante fotosíntesis forman hidratos de carbono con tres carbonos, son llamadas  $C_3$ , mientras que aquellas que forman productos de cuatro átomos de carbono se denominan  $C_4$  (por ejemplo el maíz). La enzima fijadora del  $CO_2$  en las plantas  $C_3$  es la ribulosa difosfato carboxilasa y en las  $C_4$  es la fosfoenol piruvato carboxilasa. Las plantas  $C_3$  tienen bajas tasas de actividad fotosintética, altos puntos de compensación de anhídrido carbónico y altas tasas de fotorrespiración.

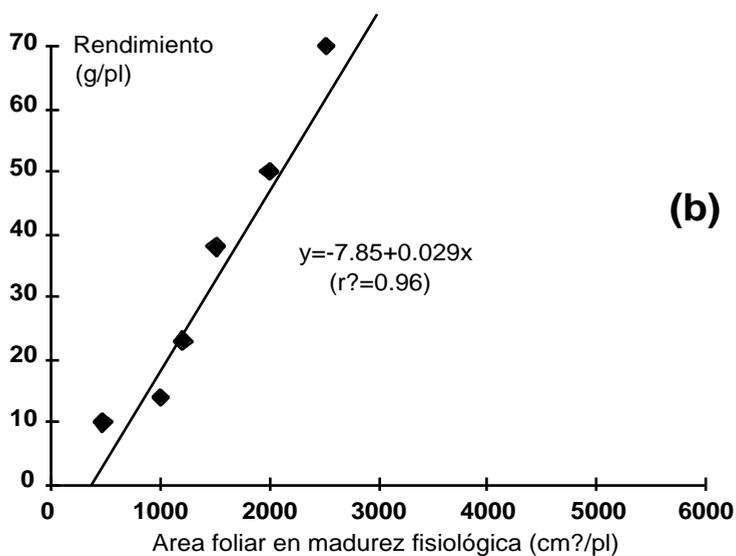
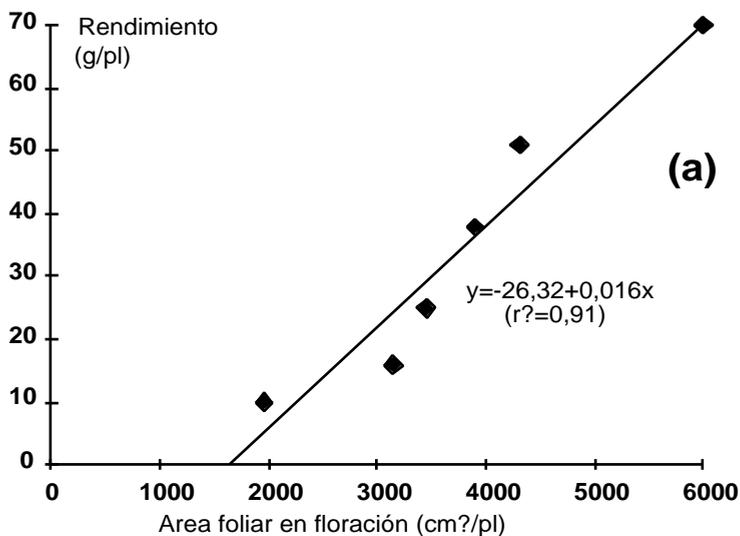
### 4.3 El rendimiento se encuentra positivamente relacionado con la superficie foliar.

Los resultados de los ensayos donde se modifican la densidad, la geometría de siembra, plantas con diferente largo de entrenudos, etc., demuestran que hay una correlación positiva entre rendimiento por planta y su superficie foliar (Figuras 12 y 13), y entre el rendimiento por unidad de superficie de suelo y el Índice de Area Foliar (IAF<sup>3</sup>), por lo menos hasta que el IAF alcanza un valor entre 2 y 3 (Figura 14). Valores de IAF superiores a 3 no producen un aumento en el rendimiento.



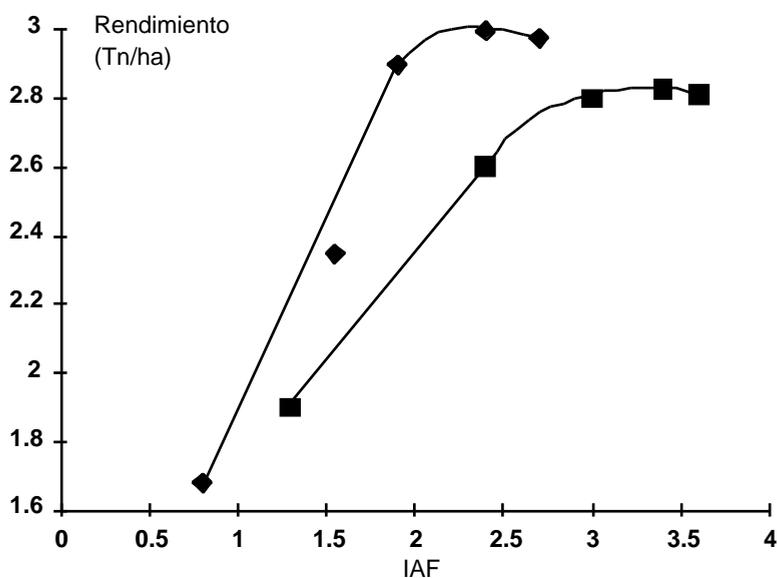
**Figura 12.** Rendimiento por planta en relación al área foliar por planta en cultivos a diferentes densidades. Rombos llenos: cultivar de ciclo corto, cuadrados vacíos: cultivar de ciclo largo. Las líneas representan las ecuaciones ajustadas a los resultados experimentales (tomado de Cardinali et al. 1985 b)

<sup>3</sup> Se denomina Índice de Area Foliar (IAF) a la superficie total de hojas por unidad de superficie de suelo. En general la superficie de hojas y la de suelo se expresan en metros cuadrados. Los valores de IAF son adimensionales (no tienen unidades) ya que representa el cociente entre dos superficies.



**Figura 13.** Relación entre rendimiento por planta y área foliar por planta en a) floración y b) madurez fisiológica. Las líneas representan las ecuaciones ajustadas a los resultados experimentales. El híbrido utilizado era de baja estatura, 0,89m a la floración y fue cultivado a diferentes densidades (tomado de Aguirrezábal et al. 1987)

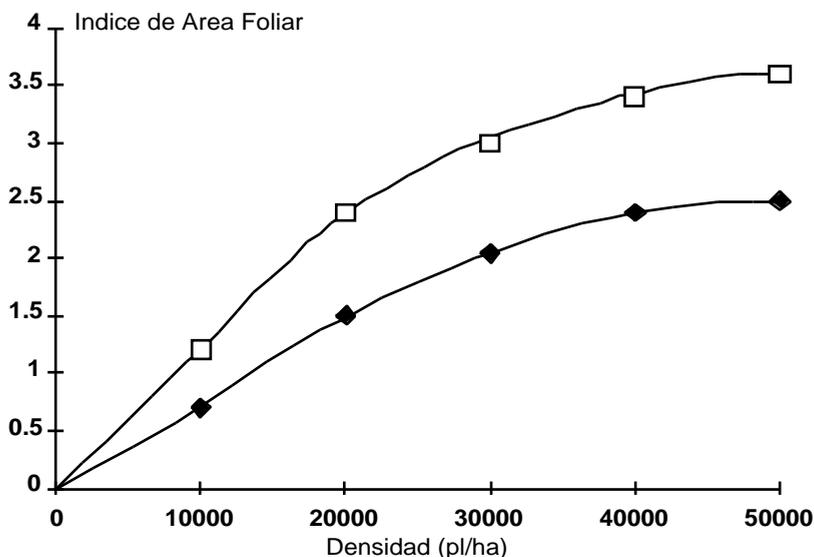
Las estrechas correlaciones encontradas en una gama de condiciones tan amplia entre el IAF y el rendimiento se explican porque en girasol el rendimiento es principalmente dependiente del porcentaje de radiación que es interceptada por el cultivo (ver Figura 11). Por su parte, el porcentaje de conversión en materia seca, el porcentaje de partición a la parte aérea y el porcentaje de partición a los frutos son menos variables (misma figura) e inciden en menor medida sobre el rendimiento.



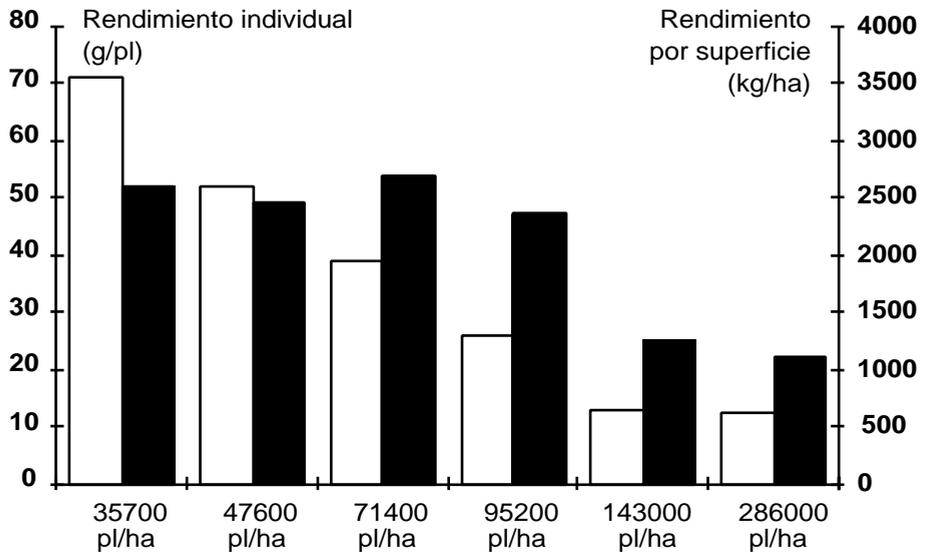
**Figura 14.** Evolución del rendimiento por unidad de superficie en relación al índice de área foliar. Rombos: cultivar de ciclo corto, cuadrados: cultivar de ciclo largo (tomado de Cardinali et al. 1985 b)

#### 4.4. La superficie foliar es dependiente de la densidad de plantas.

Los resultados presentados en la Figura 15 muestran que con densidades de 30.000 plantas por hectárea ya pueden obtenerse valores de IAF entre dos y tres. Esto podría explicar porqué el rendimiento económico del girasol cultivado en secano no varía en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires para densidades de entre 35.000 y 100.000 plantas por hectárea (Figura 16), si bien el área foliar por planta disminuye con el aumento de la densidad (Figura 17). En estas condiciones, es conveniente sin embargo, no sobrepasar las 70000 plantas por hectárea ya que a mayor densidad las plantas poseen a menudo tallos finos y débiles y aumentan las probabilidades de vuelco. Además la incidencia de enfermedades puede incrementarse en esas condiciones.



*Figura 15. Índice de área foliar en relación a la densidad de población. Rombos llenos: cultivar de ciclo corto, cuadrados vacíos: cultivar de ciclo largo (tomado de Cardinali et al. 1985 b)*

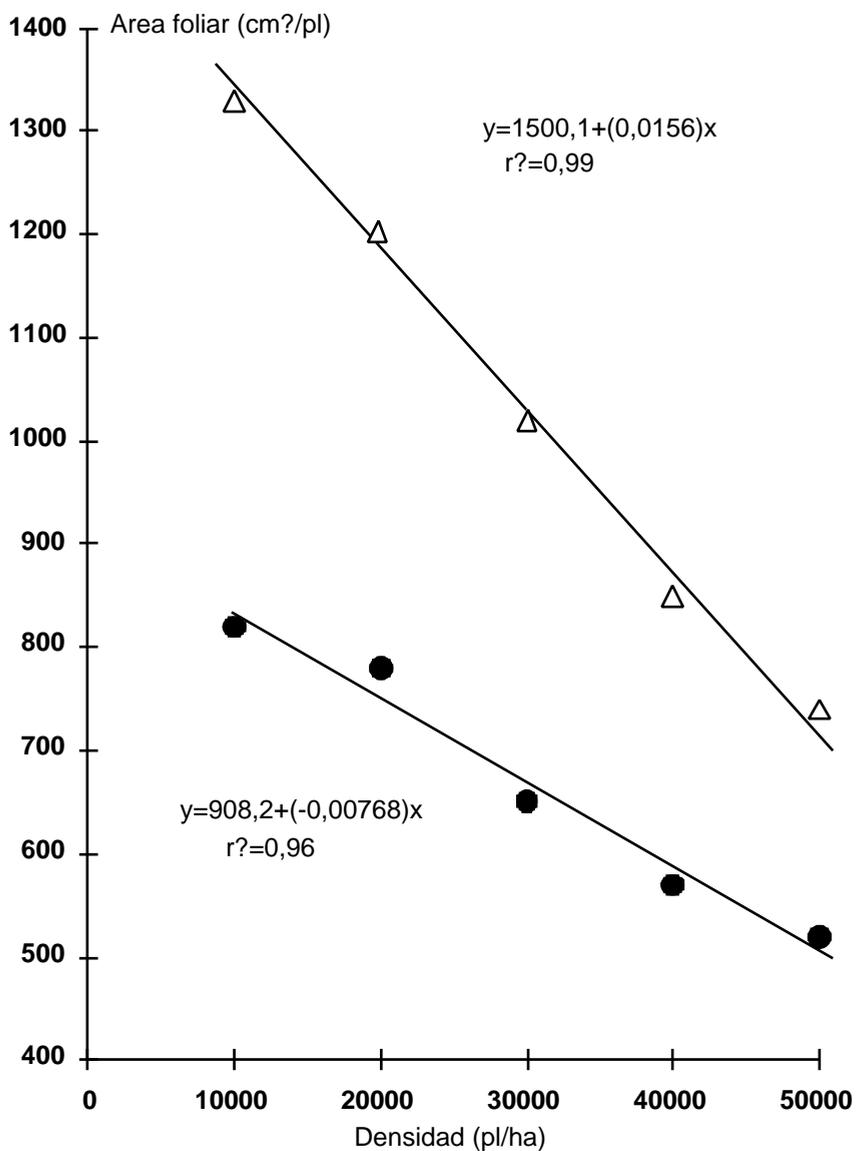


**Figura 16.** Efecto de la densidad sobre los rendimientos individuales (barra clara, mínima diferencia estadística 10.46 g/planta) y por unidad de superficie (barra oscura, mínima diferencia estadística 1048 Kg/ha) (tomado de Aguirrezábal et al. 1987).

Sin embargo, en algunos ensayos realizados bajo riego en condiciones experimentales, en una zona de alta radiación incidente y baja incidencia de enfermedades (H. Ascasubi), el rendimiento en grano respondió a la densidad aún con valores superiores a 100.000 plantas por hectárea (Tabla 1), lo que sugiere que en ambientes de muy elevada productividad se debería adecuar la densidad para aprovechar la mayor oferta ambiental.

#### **4.5. Las hojas superiores interceptan la mayor parte de la radiación lumínica en antesis.**

El tercio superior de hojas intercepta más del 90% de la luz que incide sobre un cultivo de girasol en antesis (Tabla 2). Cerca de los dos tercios de hojas están sombreados, y aportan pocos fotoasimilados a los frutos (Tabla 3).



**Figura 17.** Efecto de la densidad sobre el área foliar por planta. Círculos llenos: cultivar de ciclo corto, triángulos vacíos: cultivar de ciclo largo. Las líneas representan las ecuaciones ajustadas a los resultados experimentales (tomado de Cardinali et al. 1985 b).

**Tabla 1.** Rendimiento en grano y sus componentes para el híbrido Dekalb G-97 a cuatro densidades de plantas (tomado de Hernández 1983).

Densidad (pl /m <sup>2</sup> )	Nº de frutos por capítulo	Peso de 1000 frutos (g)	Contenido de aceite (%)	Rendimiento (g/planta)	Rendimiento (g/m <sup>2</sup> )	Índice de cosecha
2,8	1670,9 d	78,76 c	44,3 b	131,6	368,5 b	39,4
5,6	1577,1 c	42,07 b	45,7 ab	66,4	371,8 b	35,2
16,6	1032,7 b	36,71 a	46,2 ab	37,9	629,1 a	37,3
33,3	598,1 a	33,57 a	47,5 a	20,1	668,7 a	28,6

Las medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente por el test de rango múltiple de Duncan al nivel del 5%.

**Tabla 2.** Absorción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente a nivel de diferentes estratos de un cultivo de girasol (estadio 50% de floración). Promedio de tres densidades y dos cultivares. (Martínez, resultados no publicados)

<b>R.F.A. incidente sobre el cultivo</b>	1912 $\mu$ moles m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
<b>Porcentaje absorbido por el tercio superior de hojas</b>	93,0%
<b>Porcentaje absorbido por los dos tercios inferiores de hojas</b>	4,6%
<b>Porcentaje absorbido por debajo de la hoja verde más baja</b>	1,9%

**Tabla 3.** Actividad específica porcentual detectada en los frutos, en el aceite luego de la marcación con  $^{14}\text{CO}_2$  en hojas insertas a diferentes alturas del tallo, en relación con la detectada en frutos de plantas marcadas en hojas superiores (tomado de Hernández y Orioli 1991).

Hoja marcada	Actividad detectada en los frutos (cpm %)	Disminución con respecto al testigo (%)
Superior	100	-
Intermedia	38.5	-61.5
Inferior	0.17	-99.8

Diferentes investigaciones han tenido como objetivo lograr que un mayor nivel de radiación lumínica alcance las hojas inferiores, lo que permitiría aumentar la fotosíntesis total. Estos trabajos, en los que se probaron cultivares de girasol de porte mediano, inhibidores de elongación de los entrenudos y cultivares con hojas superiores menos planas, no han producido un aumento del rendimiento en frutos, aunque sí se han detectado incrementos en el peso total de la planta en algunos de los trabajos realizados.

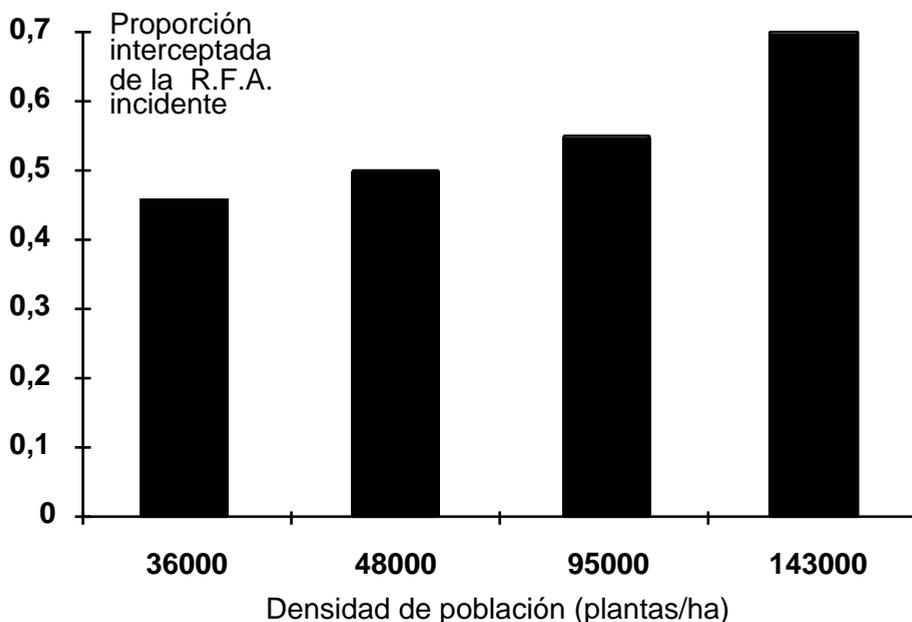
La arquitectura del follaje es importante ya que la misma está relacionada directamente con la capacidad de intercepción de luz de las plantas en el cultivo. Así por ejemplo, en algunas especies, a elevados valores del IAF, los genotipos con hojas verticales (arquitectura del follaje denominada erectófila) tienen mayor eficiencia en la conversión de la radiación incidente en materia seca que los genotipos que tienen mayor proporción de hojas horizontales (arquitectura del follaje denominada planófila). La causa principal se atribuye a la mejor distribución de la luz a través de las hojas de las plantas en el cultivo, ya que debido a un menor coeficiente de extinción de las mismas hay una mayor iluminación de las hojas de los estratos inferiores.

Este efecto de la arquitectura foliar erectófila ha sido verificado en girasol. Cuando se estudiaron cultivares de girasol con follajes planófilos y erectófilos se encontró una correlación positiva al comparar el rendimiento biológico (Rb) con el IAF y con la inclinación de las hojas. Las plantas de follaje erectófilo fueron las que tuvieron mayor Rb. El rendimiento económico (Re) en estas plantas fue bajo comparado con el resto de los cultivares analizados, probablemente por una menor partición de los fotoasimilados fijados hacia los frutos. Sin embargo, una mayor partición a los frutos podría ser alcanzada por la vía del mejoramiento genético. Es por ello que se puede asegurar que sería deseable que la característica “hojas superiores erectófilas” fuera incorporada a cultivares de girasol con alta eficiencia en la distribución de fotoasimilados.

#### **4.6. La capacidad de interceptación de la energía lumínica puede ser modificada a través del manejo.**

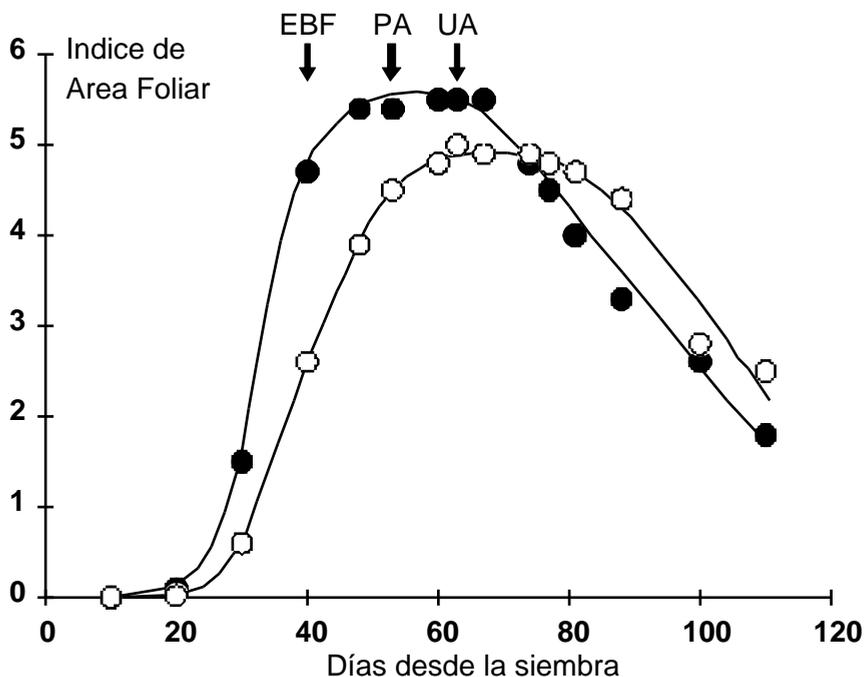
La radiación lumínica que incide sobre el cultivo a lo largo de su ciclo, depende de factores climáticos que escapan a nuestro control. Sin embargo, a través de la elección del cultivar y/o cambiando la fecha de siembra y/o la densidad de plantas, se puede modificar la cantidad de energía lumínica que el cultivo intercepta durante su desarrollo, y, específicamente, la que intercepta durante etapas fenológicas claves para la formación del rendimiento.

Los cultivares de ciclo largo, cuyas plantas interceptan energía lumínica durante más tiempo, producen en general un mayor peso seco y rendimiento que los de ciclo corto. La elección de la fecha de siembra permite variar la cantidad total de energía lumínica que intercepta el cultivo, ya que la radiación lumínica que incide sobre el mismo cambia a lo largo de la estación de crecimiento. Los cambios en densidad permiten también modificar la cantidad de radiación que es interceptada por el cultivo en los estadíos iniciales (Figura 18).



*Figura 18. Efecto de la densidad sobre la proporción de la radiación fotosintéticamente activa (R.F.A.) incidente que es interceptada por el cultivo a los 31 días después de la siembra. Híbrido SPS 3130. Las condiciones hídricas y minerales no fueron limitantes para el crecimiento del cultivo (Martínez, resultados no publicados).*

Aumentos en la densidad de plantas determinan una menor duración del período entre la siembra y la obtención de un IAF de entre 2-3 (Figura 19), necesario para interceptar el 90-95% de la radiación solar incidente. Se puede observar también que los altos valores de IAF se prolongan más tiempo a bajas que a altas densidades. La densidad de plantas sería entonces una de las variables del cultivo que no sólo permite modificar el IAF en las diferentes etapas en las que se definen los componentes del rendimiento, sino que también modifica la duración de la superficie foliar fotosintéticamente activa.



**Figura 19.** Evolución del índice de área foliar (IAF) durante el ciclo de cultivo a dos diferentes densidades: 5.6 pl/m<sup>2</sup> (símbolos vacíos) y 16.6 pl/m<sup>2</sup> (símbolos llenos). Obsérvese que a alta densidad el IAF de entre 2-3 se obtiene antes. EBF: emergencia del botón floral, PA: antesis de flores periféricas, UA antesis de flores centrales. Experimento realizado en Hilario Ascasubi (tomado de Hernández y Orioli 1982 a).

## 4.7 El Índice de Área Foliar (IAF) : herramienta clave para un manejo racional del cultivo.

Los puntos anteriores de esta sección muestran que el IAF es una variable útil para ajustar el manejo del cultivo. La rápida obtención de un IAF de 2-3 que permita interceptar la mayor parte de la radiación incidente y la mantención de un IAF superior a dicho nivel “crítico” durante el mayor tiempo posible constituyen objetivos necesarios en miras a obtener un elevado rendimiento y un porcentaje de aceite cercano al potencialmente alcanzable por el cultivar elegido. La estimación del IAF en

diferentes momentos del ciclo del cultivo ayudará por lo tanto a juzgar la oportunidad y necesidad de aplicación de prácticas agronómicas.

El IAF de cultivos de girasol puede ser medido de manera simple y con un costo bajo. Para ello, es necesario estimar la superficie foliar acumulada de las plantas que se encuentran en una superficie de suelo conocida, en una zona representativa del lote. La superficie foliar de las hojas de cada planta puede ser estimada midiendo el ancho máximo de las mismas, y convirtiendo dichos valores de longitud (m) en valores de área (m<sup>2</sup>) a través de ecuaciones preestablecidas, tarea fácilmente realizable con ayuda de una calculadora. Una mayor simplificación de la estimación de la superficie de las hojas puede ser conseguida construyendo previamente una regla donde se reemplaza cada valor de ancho por la superficie calculada a partir de las ecuaciones. Esto permite obtener directamente en el campo el valor de la superficie estimada de las hojas y acelerar el cálculo del IAF en esas condiciones. La metodología utilizada para establecer las citadas relaciones entre el ancho y la superficie foliar, las ecuaciones nombradas (con sus respectivos parámetros) y una tabla que puede utilizarse para construir la regla citada se encuentran en el anexo 3 de este trabajo.

## **5. Desarrollo del órgano cosechable.**

El capítulo del girasol se desarrolla a partir de una serie de procesos concatenados que se inician con el pasaje del estado vegetativo (producción de hojas en el ápice caulinar) al estado reproductivo.

La evolución del desarrollo reproductivo del girasol es descrita habitualmente utilizando diferentes escalas. Las más utilizadas son la escala de Estados Florales (EF) de Marc y Palmer, (1981)<sup>4</sup> y la escala visual de Estados Vegetativos (V) o Reproductivos (R) de Schneiter y Miller (1981)<sup>5</sup>. Se utilizará en esta obra la escala de Marc y Palmer, por ser la que más detalladamente describe el proceso de floración desde su inicio. La misma está dividida en 10 estados, de los cuales se destacarán cuatro.

### **5.1. Pasaje del estado vegetativo al estado reproductivo.**

El primer estado detectable de la floración en el girasol, y a partir del cual se comienza a gestar la forma y tamaño del futuro capítulo, es el estado floral 1. Este estado determina la culminación de la formación de los primordios de las hojas en la planta, y por lo tanto indica el momento en el cual su número final queda fijado. A manera de ejemplo, y dependiendo de los cultivares y de la fecha de siembra, este cambio se observa entre los 14-25 días a partir de la emergencia de la planta y cuando la misma tiene 4-6 hojas visibles.

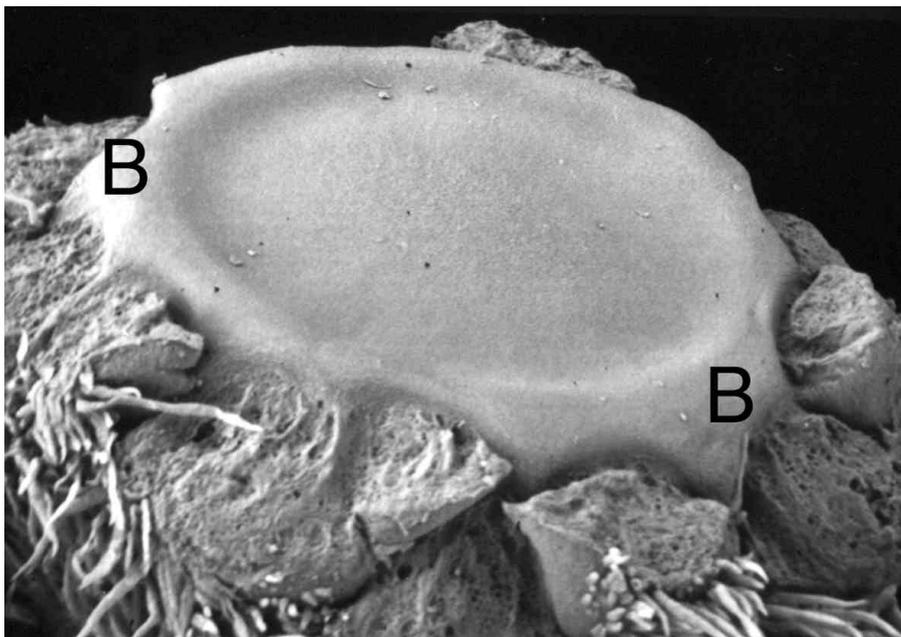
### **5.2. Desarrollo reproductivo.**

---

<sup>4</sup> Marc, J. y Palmer, J.H. 1981. Photoperiodic sensitivity of inflorescence initiation and development in sunflower. *Field Crops Research*. 4:155-164.

<sup>5</sup> Schneiter, A. y Miller, J.F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science*. 21:901-903.

Después del pasaje de estado vegetativo a reproductivo, se manifiesta la segunda etapa importante del desarrollo reproductivo. El receptáculo se expandió tomando la forma de disco aplanado (EF4, Figura 20). A partir de allí los primordios florales comienzan a distinguirse sobre la superficie del joven receptáculo (EF 5). En ese momento la planta tiene 8-10 hojas.



*Figura 20. Detalle de un capítulo de girasol en EF 4 (Estado Floral 4) . En esta etapa se están formando todavía las brácteas involucrales (B) del mismo y la superficie del ápice ha comenzado a expandirse en forma horizontal, adquiriendo la forma de un disco aplanado. En muy poco tiempo (1-2 días más) se comenzarán a observar en el borde de este joven capítulo las primeras yemas (primordios) de las flores, fijando a partir de allí el EF5. Escala=0.5 mm (Hernández, no publicado)*

La tercera etapa se manifiesta cuando se ha completado de diferenciar la totalidad de los primordios florales en el receptáculo y el centro del mismo está cubierto por flores (EF 8). La planta tiene 14-16 hojas. La cuarta etapa importante es la antesis (apertura de las flores).

El número total de flores desarrolladas en el receptáculo determina el número potencial de frutos de la planta. A pesar de su importancia en el rendimiento, el período de desarrollo es relativamente corto (no más de dos semanas).

### **5.3. Factores que controlan el número total de flores.**

Existen tres factores en el ápice reproductivo que actúan sobre el control del número total de flores que pueden ser desarrolladas:

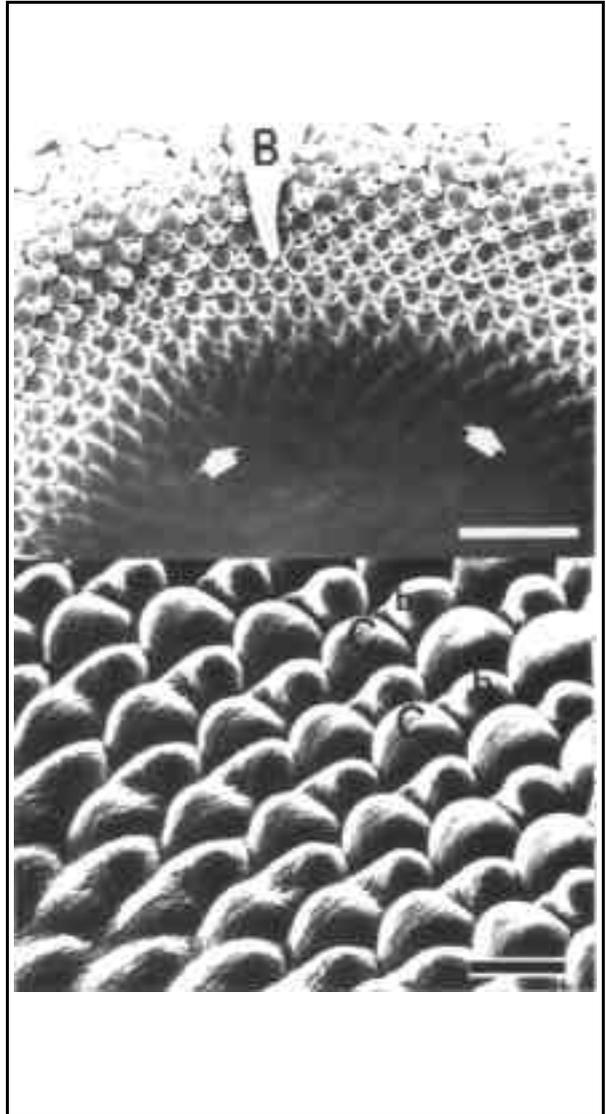
1) El número inicial de filas de flores (parásticas) que se desarrollan en EF5 (8-10 hojas), parámetro que depende del perímetro inicial del receptáculo (Figura 21).

2) El espacio disponible que ofrece el tejido del receptáculo (meristema reproductivo) en expansión para que nuevas flores se diferencien sobre el mismo

3) El número de flores en cada fila, el cual depende del diámetro máximo que el receptáculo alcance en EF8 (14-16 hojas).

Estos factores están además relacionados con el tamaño inicial y con la persistencia del área generativa en la cual las flores se van desarrollando (la región interior del receptáculo observable entre el EF 5 y EF 8, Figura 21). El número final de flores será el resultado del balance entre el ritmo de desarrollo del área del receptáculo

**Figura 21.** A) Detalle de un sector del capítulo en EF 6. El proceso de formación de flores ya se ha iniciado. Las mismas se disponen en ordenadas filas espiraladas. Obsérvese hacia la parte inferior de la figura (centro del capítulo) que las flores van apareciendo, primero como suaves protuberancias, para convertirse luego cada una de ellas en un elemento identificable, como se observa en b). Este lugar de aparición de las flores (indicado con las flechas) es el denominado “frente generativo”, y la superficie todavía vacía el “área generativa”. El órgano presentado en la parte superior es una bráctea del capítulo. Escala=0.5 mm B) Detalle ampliado y visto en perspectiva de una región del frente generativo del mismo capítulo, donde se observa la forma que adquieren las flores desde el inicio de su diferenciación (extremo inferior izquierdo, indicado con la flecha), hasta la identificación de una doble estructura (extremo superior derecho) constituida por la doble corola y el ovario (c) y su bráctea acompañante (b). Escala=0.1 mm (tomado de Hernández 1995)



y el ritmo de producción de nuevas flores en el área generativa. En consecuencia, los dos factores más importantes en la determinación del

número de flores de la planta son el tamaño y el período de actividad del área generativa.

Una vez que la iniciación floral se ha manifestado, el período durante el cual las flores aparecen en la zona generativa (duración del intervalo EF5 - EF8), se convierte en crítico para maximizar el número final de flores a obtener sobre el receptáculo. Deficiencias en la nutrición mineral y carbonada o en la disponibilidad de agua de las plantas tendrán un efecto negativo sobre el desarrollo del joven receptáculo, y del número final de flores, limitando consecuentemente el rendimiento. Es importante, por lo tanto, proporcionar al cultivo una buena alimentación hídrica y mineral durante dicha etapa.

Durante el período que va desde EF 6-7 (Figura 21, aproximadamente al “estado estrella” de Schneiter y Miller 1981) hasta antesis, las flores incrementan su tamaño y se desarrollan para alcanzar su madurez reproductiva, momento en que son aptas para ser polinizadas y fecundadas. Para cada flor, el tiempo transcurrido desde su iniciación como primordio hasta la antesis dura alrededor de 20 días. Cabe consignar que hay entre 10-15 días de diferencia de edad entre las flores originadas en la periferia del capítulo y las flores centrales del mismo.

Este desarrollo secuencial de las flores, le da al girasol cierta plasticidad para poder soportar períodos de estrés cortos sin el riesgo de perder un alto porcentaje de flores. Es de destacar que una disponibilidad óptima de agua, nutrientes y radiación solar en esta etapa será altamente beneficiosa para lograr un buen rendimiento. Una vez obtenido un elevado número de flores, es importante lograr que se polinice y cuaje la mayor proporción de ellas para obtener un alto número de frutos.

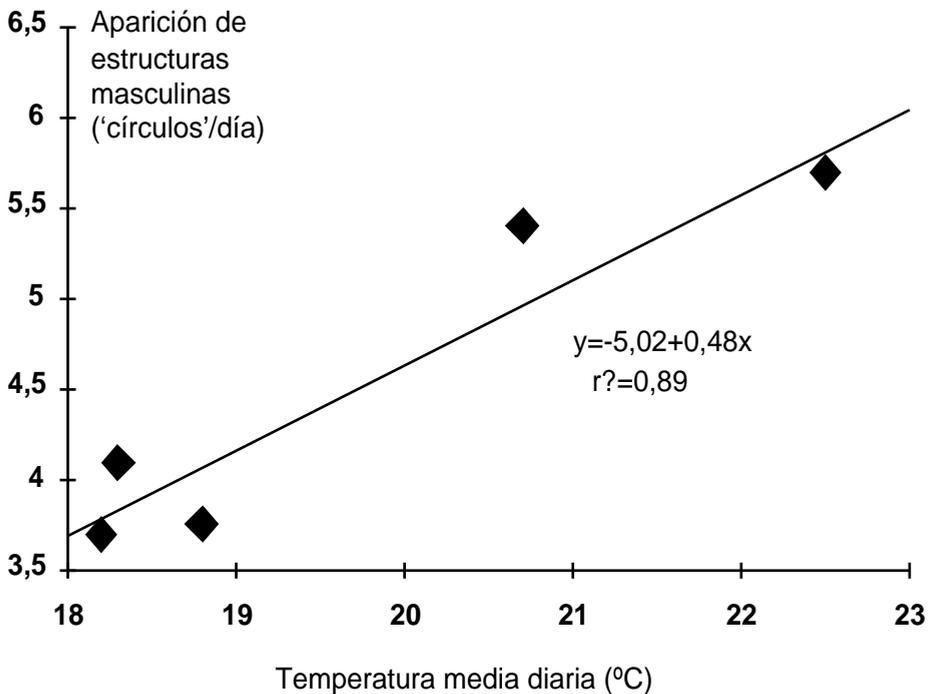
*¿Cuáles son las vías para modificar y mejorar los factores que determinan el número total de flores de la planta?*

El camino para encontrar la respuesta en forma experimental sería manipulando el desarrollo de primordios florales, mediante cambios en las condiciones de crecimiento (agua, fotoperíodo, nutrición mineral, etc.) o a través del manejo del cultivo (fecha de siembra, fertilización, aplicación de riegos, etc.).

## **5.4. Floración y fecundación.**

Una vez logrado el desarrollo del número de primordios florales, la siguiente etapa es la antesis (apertura de las flores). Los principales factores que pueden afectar esta etapa son la temperatura (Figura 22), la disponibilidad de agua y boro en el suelo y la radiación solar. Cada uno de estos factores actuarán en definitiva retrasando el proceso de polinización y/o fecundación con el peligro de producir pérdidas durante el inicio de la formación de la semilla y por ende un menor número de frutos a la cosecha. La secuencia de apertura de las flores (antesis) es centrípeta, es decir, se realiza desde la periferia y hacia el centro del capítulo. Ésta dura entre 10 y 15 días dependiendo del cultivo. Mientras la secuencia de antesis progresa hacia el centro del capítulo, se comienza a producir simultáneamente la polinización y posterior fecundación de los óvulos de las flores insertas en la periferia. Esta secuencia de polinización y fecundación también es centrípeta.

El porcentaje de fecundación cruzada es alto en el girasol, lo que indica su gran dependencia de la presencia de polinizadores (principalmente la abeja) para llevar a cabo este proceso. Los mejoradores genéticos han tratado de aumentar la autocompatibilidad para disminuir el riesgo de una deficiente fecundación, por ejemplo, frente a condiciones climáticas poco favorables para la actividad de los polinizadores.



**Figura 22.** Efecto de la temperatura sobre la aparición de estructuras masculinas en las flores fértiles del girasol. La línea representa la ecuación ajustada a los resultados experimentales (Dosio y Aguirrezábal, resultados no publicados)

## 5.5. Llenado de los frutos.

Una vez iniciado el desarrollo del fruto (semilla+pericarpio) comienza el período de llenado del mismo. En un principio, la demanda de estos frutos es mínima, ya que recién comienzan a diferenciarse las conexiones vasculares. Esta etapa de baja demanda dura los primeros 3-5 días desde la fecundación. A partir de allí, los frutos comienzan a requerir un mayor volumen de sustancias carbonadas como así también agua y minerales. Esta etapa que dura hasta la denominada “madurez fisiológica”, es también de gran importancia en la determinación del rendimiento del cultivo y del porcentaje de aceite de sus frutos. Las plantas tienen que haber llegado a esta etapa en buenas condiciones

sanitarias y nutricionales para poder abastecer a partir de allí, la gran demanda de asimilados y nutrientes minerales de los frutos.

Si los asimilados y nutrientes minerales requeridos para el desarrollo de los frutos no son suficientes para suplir esa demanda, se pueden producir el aborto de los mismos dado que la planta dará “prioridad” a un menor número de frutos por capítulo pero con un peso mínimo límite. Así por ejemplo, cuando se varió la cantidad de radiación solar interceptada por las plantas durante la etapa de llenado, aplicando sombreos o raleando plantas, se modificó no sólo el peso individual de los frutos en tres sectores del capítulo sino también el número de frutos llenos en el sector central (Tabla 4).

El menor peso y mayor vaneo que se registran generalmente hacia el centro del receptáculo se produciría por la prioridad de llenado que, en caso de escasa oferta de fotoasimilados, tendrían los frutos insertos cerca de la periferia del capítulo. Contrariamente a otros autores que hipotetizan que esta “prioridad” es originada por una mala vascularización del sector central, nuestros resultados sugieren que la cantidad de floema no es limitante para el llenado de dichos frutos. En efecto, esta fue similar en los tres sectores del capítulo (Tabla 4).

Además, el rendimiento por unidad de superficie en el sector central del tratamiento raleado (que interceptó más luz) fue similar al encontrado en los sectores del medio y la periferia del tratamiento sombreado (Tabla citada), lo que descarta prácticamente la hipótesis citada.

**Tabla 4.** Valores promedio por unidad de superficie de capítulo de las variables estudiadas, en tres sectores del capítulo y para dos tratamientos: sombreado y raleado. PER: Periferia, MED: Medio y CEN: centro. Se incluyen los desvíos estándar de los promedios. (tomado de Thevenon et al 1995)

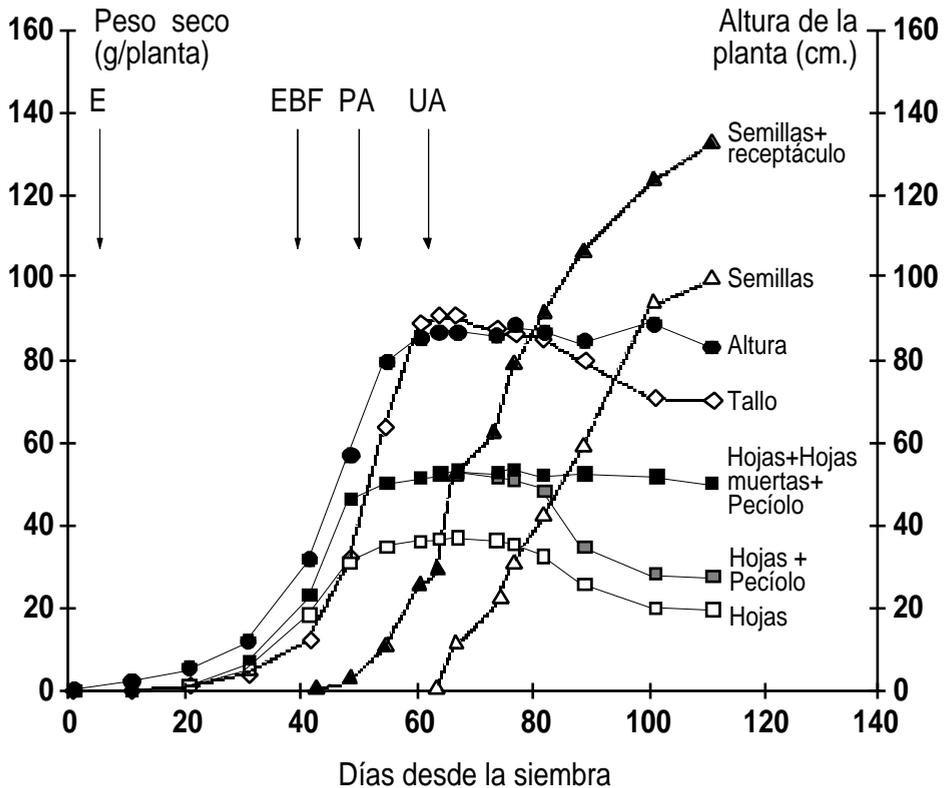
	SOMBREADO			RALEADO		
	PER	MED	CEN	PER	MED	CEN
<b>Rendimiento (gr/cm<sub>2</sub>)</b>	0.241 ±0.019	0.256 ±0.028	0.103 ±0.038	0.354 ±0.012	0.410 ±0.039	0.248 ±0.053
<b>Rendimiento energético (kcal/cm<sub>2</sub>)</b>	1.58	1.66	0.67	2.43	2.87	1.78
<b>Número de frutos llenos/cm<sub>2</sub></b>	6.69 ±0.52	8.00 ±0.92	4.48 ±2.05	6.68 ±0.79	8.72 ±0.90	8.00 ±2.50
<b>Peso individual de frutos (g/cm<sub>2</sub>)</b>	0.036	0.032	0.023	0.053	0.047	0.031
<b>Número haces vasculares (haces/cm<sub>2</sub>)</b>	17.27 ±2.89	17.31 ±2.74	17.42 ±2.25	17.76 ±2.28	17.73 ±2.57	17.27 ±2.83
<b>Cobertura floemática (%)</b>	1.82	1.93	1.88	1.93	1.98	1.85

## **6. La acumulación y partición de la materia seca producida.**

Diferentes tejidos y órganos se desarrollan y crecen a lo largo del ciclo de vida de la planta. Esta pasa de la fase vegetativa a la reproductiva, gana peso, altura y área foliar, desarrolla los primordios florales y llena los frutos. Estos procesos no son independientes, ocurriendo además algunos de ellos simultáneamente, y pudiendo existir competencia entre los mismos por las “materias primas” (hidratos de carbono, nutrientes minerales, etc.) necesarios para cumplir los mismos.

### **6.1. Crecimiento y desarrollo.**

Como ya se ha dicho, la diferenciación del ápice vegetativo en reproductivo ocurre tempranamente en girasol (4-6 hojas). En ese momento, el cultivo de girasol se presenta con plantas pequeñas, poca masa y superficie foliar y el suelo se encuentra prácticamente descubierto. Luego comienza una fase de gran crecimiento en altura, peso seco, área foliar y absorción de nutrientes (Figura 23), lo que en una curva de crecimiento del cultivo se identifica con la fase de crecimiento exponencial. Al mismo tiempo se desarrollan las flores. En la mayoría de los híbridos argentinos, esta etapa de gran crecimiento comienza cuando la planta tiene aproximadamente unos 25 cm de altura, 3 pares de hojas verdaderas desarrolladas y comienza a emitir la primera hoja impar, la séptima. En la Tabla 5 se presenta la duración de las diferentes etapas de desarrollo de un híbrido de girasol de ciclo intermedio a corto, en siembras de octubre, noviembre y diciembre en Balcarce. La mayor parte de la variación en la duración de las primeras etapas del cultivo en distintas fechas de siembra es debida a cambios en la temperatura durante las mismas, factor que afecta la velocidad de desarrollo de cultivo. Otras variables, tales como el fotoperíodo y la nutrición hídrica y mineral pueden también afectarla, aunque en general en menor medida.



*Figura 23. Evolución del peso seco de los diferentes órganos vegetativos y reproductivos y la altura del tallo de plantas de girasol cultivadas en condiciones de campo. Híbrido Dekasol 3881. Leyendas E: emergencia, EBF: aparición del botón floral PA: antesis de las flores periféricas, UA: antesis de las flores centrales. (Tomado de Hernández, 1995)*

## 6.2. Competencia entre destinos por los fotoasimilados.

En la fase de gran crecimiento hay dos destinos que compiten por los fotoasimilados; uno constituido por las zonas de activo crecimiento de hojas, tallos y raíces, y el otro por los meristemas y zonas de crecimiento

que desarrollan el aparato reproductor. Durante dicha fase, el primer destino se encuentra acumulando reservas y desarrollando estructuras vegetativas, mientras que el segundo está desarrollando el máximo posible de flores y frutos. Ambos están compitiendo por fotoasimilados, y contribuyendo a alcanzar el máximo de rendimiento. En esa competencia es deseable un balance que no privilegie el uno con respecto al otro. Este balance entre las demandas vegetativa y reproductiva ¿es constante o se puede alterar?

Diferentes resultados obtenidos sugieren que es posible modificar la repartición entre los destinos vegetativos y reproductivos. Así por ejemplo en la fase de botón floral, el balance neto de carbono (producción-importación) de las dos pequeñas hojas superiores es negativo y su eliminación aumenta el rendimiento debido a un aumento en el componente número de semillas.

**Tabla 5.** Duración de períodos fenológicos (en días) en siembras de Octubre, Noviembre y Diciembre en Balcarce, en un híbrido de ciclo intermedio a corto (tomado de Pereyra y Valetti 1993).

	Oct.	Nov.	Dic.
de siembra a emergencia	10	8	7
de emergencia a diferenciación floral	24	17	14
de dif. floral a principio de antesis	41	38	39
de principio de antesis a fin de fecundación	10	11	7
de fin de fecundación a madurez fisiológica	42	32	31
ciclo siembra madurez fisiológica	127	106	97

**Tabla 6.** Efecto de variaciones de la intensidad lumínica incidente sobre el rendimiento y sus componentes en plantas de girasol. Los tratamientos (sombros que interceptaban 40% de la radiación incidente) fueron aplicados en la etapa I (cambio del ápice de estado vegetativo a reproductivo) o II (floración). a: cubriendo 7 días antes del cambio de estadio, b: 7 días después y c: durante 14 días que incluyen todo el período. (tomado de Cardinali y Orioli 1987)

Trata- mientos	Diámetro de capítulo (cm)	Peso de 1000 frutos (g)	Frutos por capítulo (núm.)	Peso total de frutos por capítulo (g)	Rendi- miento (Kg/ha)
<b>ETAPA I</b> a	15.6	44.2	1477	60.9	2899
b	14.4	43.5	1312	52.3	2489
c	13.4	42.9	1131	43.2	2056
<b>ETAPA II</b> a	14.6	34.9	1618	52.8	2513
b	14.2	31.7	1594	47.2	2249
c	13.2	26.7	1551	37.1	1766
<b>Testigo</b>	16.6	46.8	1642	72.7	3461
<b>n.d.e.</b>	1.1	3.4	90	8.7	416

*n.d.e.*: nivel de diferencia estadística.

**Tabla 7.** Distintos grados de defoliación, efectuados en tres épocas de desarrollo del cultivo. Efecto sobre el rendimiento por capítulo, número de semillas, peso de mil frutos y porcentaje de semillas vacías. (tomado de Cardinali et al. 1982c)

Area Foliar Extraída (%)	Rendimiento (g/capítulo)	Frutos por capítulo	Peso de 1000 frutos (g)	Frutos vanos (%)
<b>Floración</b>				
0	96	1200	80	3
1	109	1400	78	13
23	70	1150	61	12
84	8	190	43	48
<b>10 días post-floración</b>				
0	91	1320	69	3
2	124	1460	85	3
26	76	1210	63	26
81	23	430	53	44
<b>25 días post-floración</b>				
0	106	1430	74	3
4	90	1110	81	6
49	75	1090	69	16
100	76	1190	64	12

El efecto de una disminución de la fotosíntesis sobre el rendimiento, es diferente si se produce en distintos momentos del desarrollo del cultivo. Si en la fase de iniciación floral se disminuye la intensidad lumínica se afecta principalmente el número de frutos mientras que la misma disminución en la fase floración también afecta el peso de los frutos (Tabla 6). Si bien en los dos casos el rendimiento económico va a disminuir, es distinto el componente del rendimiento principalmente afectado (el peso o el número de frutos). Esto ha sido también demostrado defoliando plantas en diferentes estadios (Tabla 7). Por otra parte el efecto de un estrés sobre un componente del rendimiento depende no sólo del estadio en que este ocurre, sino también de su intensidad y su duración. Así, defoliaciones severas que tomaron todo o gran parte del período de llenado, afectaron principalmente el número de frutos por capítulo (Tabla 7) mientras que sombreos del 60% durante la floración afectaron proporcionalmente más el peso individual de los frutos (Tabla 6).

### **6.3. La partición de la materia seca a los frutos (índice de cosecha).**

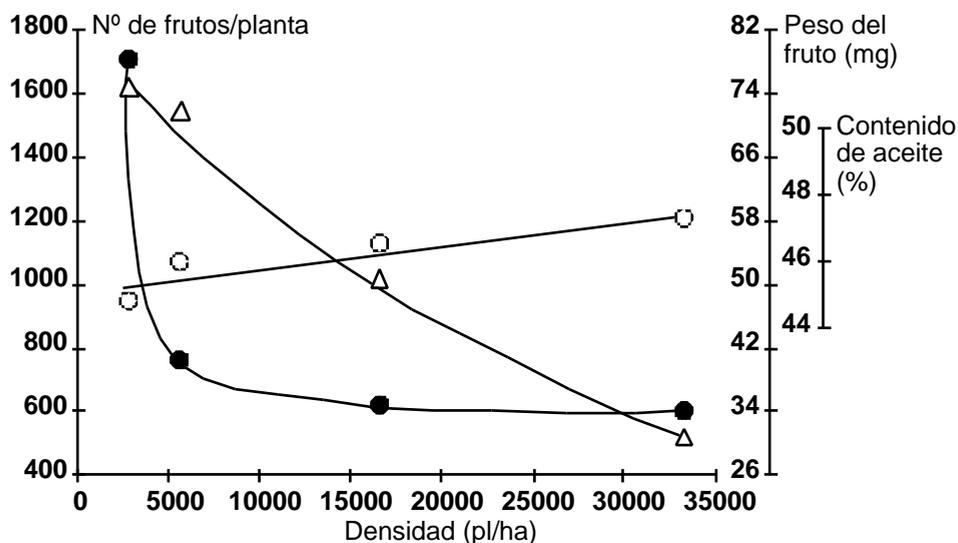
El índice de cosecha (IC) es el cociente entre el peso seco de la parte de la planta económicamente aprovechable ( $\text{Rendimiento económico} = R_e$ ) y el peso seco total de la planta con o sin raíces ( $\text{Rendimiento Biológico} = R_b$ ).

En los actuales cultivares de girasol, el IC tiene comúnmente un valor de entre 0,30 y 0,35. Este bajo índice de cosecha del girasol es explicado en parte por el hecho de que el aceite (de gran contenido energético) es una parte importante de las reservas del fruto. Si el cálculo del índice de cosecha se realiza en valores de energía, este aumenta a más de 0,50% (Tabla 8)

**Tabla 8.** Rendimiento económico ( $R_e$ ), rendimiento biológico ( $R_b$ ), contenido de aceite y cálculo del esfuerzo reproductivo para dos densidades de plantas. La variable “esfuerzo reproductivo” es equivalente al índice de cosecha y fue calculado en unidades de peso seco y de energía. Valores seguidos por diferente letra difieren significativamente al 5%. (tomado de Hernández y Orioli 1985 d)

Densidad de plantas (Pl./m <sup>2</sup> )	Tratamiento	$R_h$ (g/planta)	$R_e$ (g/planta)	Esfuerzo reproductivo	
				P. seco $R_e$	Kcal. $R_e$
				P. seco $R_b$	Kcal. $R_b$
13,3	alta densidad	92,9 b	35,2 b	0,378	0,511
5,6	baja densidad	253,5 a	99,1 a	0,391	0,526

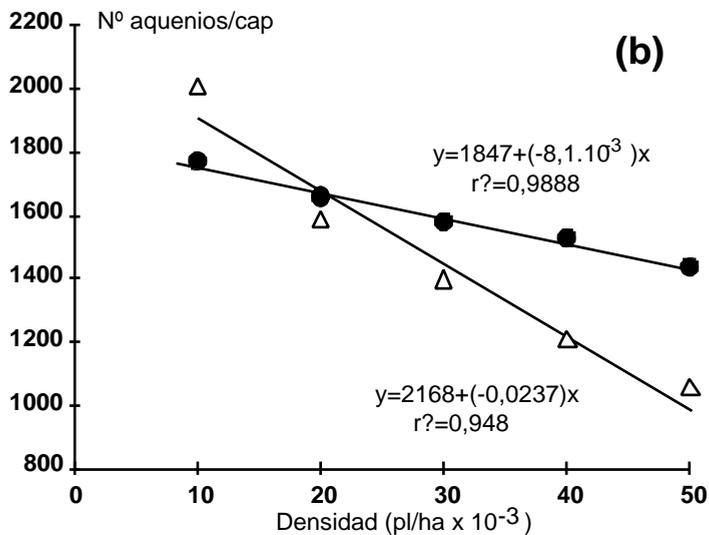
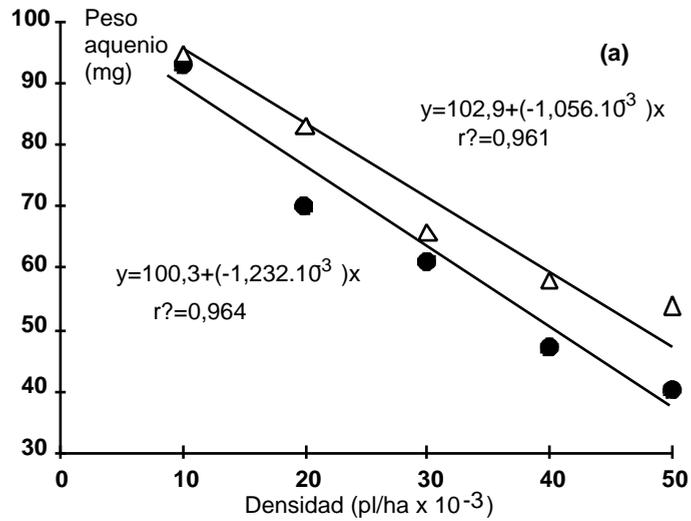
Para un mismo aprovechamiento de la energía lumínica, todo aumento en el valor del índice de cosecha redundará en un beneficio económico. Así por ejemplo en el trigo con la introducción de materiales mejicanos aumentó su IC a 0,50. Aumentos en densidad producen plantas con menor peso seco y menor área foliar, pero el índice de cosecha es poco variable, por lo que el rendimiento por unidad de superficie no disminuye en una amplia gama de densidades de plantas. Esto ocurre porque aumentos de densidad reducen el número y el peso individual de los frutos (Figuras 24 y 25), siendo la competencia entre plantas por los recursos ambientales la causa de esta disminución. Así, por ejemplo, en condiciones de riego y fertilización óptimas, la competencia por energía lumínica sería la causa principal, pues pasaría a ser el recurso limitante.



**Figura 24.** Relación existente entre el número promedio de frutos llenos desarrollados en el capítulo (triángulos), el peso individual de los frutos (círculos llenos), el contenido porcentual de aceite (círculos vacíos), y la densidad (tomado de Hernández y Orioli, 1992)

Por otra parte, es importante destacar que, tanto las hojas inferiores como el tallo pueden ser fuente, a pesar de encontrarse sombreados y no fotosintetizar, al movilizar parte de la energía química y de los minerales previamente acumulados. Esta contribución no deja de ser importante, tal como lo sugiere la disminución del peso seco de hojas y del tallo que se registra después de finalizada la floración (ver Figura 23), y puede llegar a explicar hasta un 30% del peso seco final de los frutos. Por lo tanto, mejorar el aprovechamiento de la energía lumínica acumulada antes del llenado podría ser una buena estrategia para lograr un aumento en el rendimiento.

El rendimiento en grano (Re, es proporción importante de la materia seca aérea total (Rb), tal como puede observarse en la Figura 26. Además, para un mismo cultivar



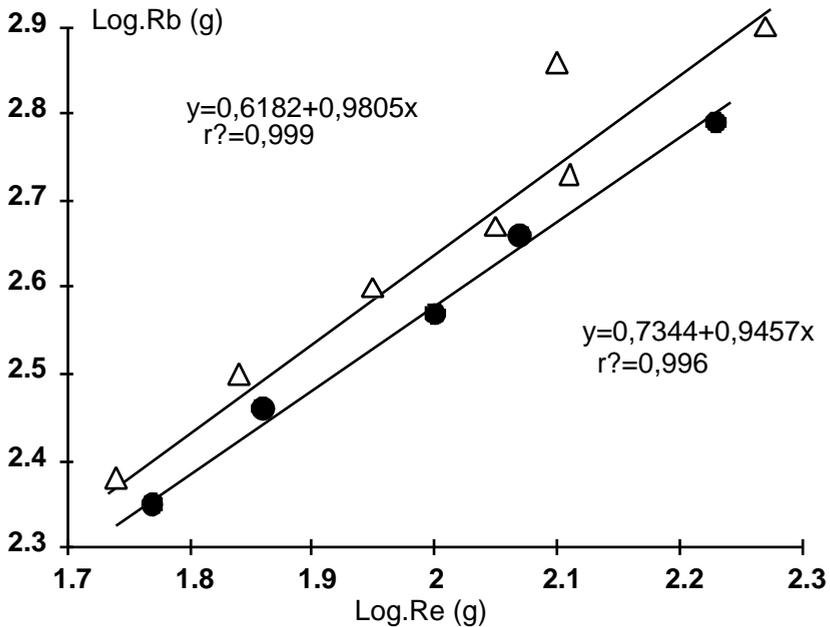
**Figura 25.** Efecto de la densidad de plantas sobre a) el peso promedio individual de los frutos y b) el número de frutos por capítulo. Las líneas representan las regresión lineal ajustada a los resultados experimentales (tomado de Cardinali et al. 1985 b).

el IC es estable, y probablemente fijado genéticamente para un rango de densidades bastante amplio. Si esto es así, los resultados sugieren que un objetivo a lograr para aumentar el rendimiento sería el de producir mayor peso seco por unidad de superficie. Como ya se ha comentado antes, el aumento de peso seco es proporcional a la energía lumínica interceptada. En este sentido, es interesante comentar que como el girasol es un cultivo muy plástico en cuanto al tamaño de hoja, y con un IAF “crítico” bajo, lo recomendable sería lograr un aumento tanto de la superficie foliar que intercepta radiación lumínica incidente así como una disminución de la duración de la etapa comprendida entre la emergencia y el momento en que el IAF “crítico” es alcanzado. Como ya se dijo en el punto 4.5, modificaciones en el ángulo de inserción de la hoja al tallo (mejoramiento genético) como de geometría de densidades de siembra (prácticas de cultivo), podrían contribuir a lograr ese objetivo en condiciones en que los recursos agua y nutrientes minerales no sean limitantes.

El desarrollo y senescencia foliar y la duración de los distintos estadios de desarrollo del cultivo determinarán la cantidad de radiación interceptada y acumulada en materia seca. Si de esa manera se maximiza la eficiencia de conversión de la radiación incidente (Figura 11), luego la respuesta a la temperatura ambiente atmósfera-suelo pasa a ser importante. En efecto, como ya ha sido explicado al comienzo de esta sección, el ciclo y ritmo de desarrollo de un cultivo son altamente dependientes de la temperatura. Se puede citar como ejemplo el desarrollo de las hojas que depende cuantitativamente de la temperatura, pero al mismo tiempo, temperaturas cálidas aceleran el pasaje de un estadio fenológico a otro. Así por ejemplo, en algunos casos el ciclo de crecimiento se acortaría y el efecto sobre el área foliar podría no ser tan positivo como se esperaba. Lo antedicho sugiere que se podría esperar un impacto importante en el rendimiento del cultivo si se consiguiera modificar la relación entre la temperatura y la velocidad de desarrollo de las plantas, cambiando así la duración de las distintas etapas fenológicas.

Estas modificaciones podrían obtenerse por la vía del mejoramiento genético.

Las consideraciones realizadas en los párrafos anteriores, tendientes a analizar las posibles vías para aumentar el rendimiento, son especialmente importantes bajo el supuesto de la dificultad de



**Figura 26.** Relación entre Rendimiento biológico (Rb) y rendimiento económico (Re). Círculos: cultivar de ciclo corto, triángulos: cultivar de ciclo largo. Las líneas representan la regresión lineal ajustada a los resultados experimentales ( $\log Rb = \log K + a \log Re$ ,  $r^2 = 0.98$  y  $0.95$  respectivamente, de Cardinali et al. 1985 b).

elevar el IC del girasol por encima del 35%, lo que ha sido encontrado en numerosas investigaciones. Sin embargo, existen algunas evidencias que indican que el IC puede ser aumentado en algunos ambientes de elevada

productividad (ver por ejemplo los resultados mostrados en la Figura 23 y la Tabla 8, obtenidos en Hilario Ascasubi). Investigaciones más profundas sobre el efecto del ambiente y las prácticas de manejo sobre el IC permitirán probablemente dilucidar esta cuestión.

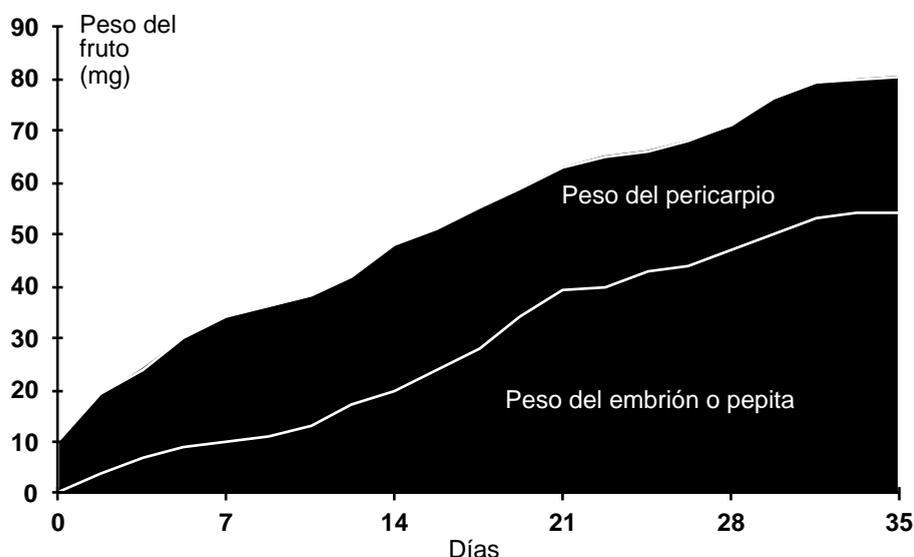
#### **6.4. La partición de la materia seca en el fruto.**

La evolución del peso seco del fruto en función del tiempo después de la fecundación es presentada en la Figura 27. Se muestra además el cambio en peso seco de sus dos componentes: el pericarpio (cáscara) y el embrión (pepita). Puede observarse que el pericarpio adquirió rápidamente su peso final. En cambio, el embrión recién llegó a su peso máximo a los 35 días. Este período puede variar entre 30 y 45 días siguiendo efectos del ambiente (por ejemplo variaciones entre años, fechas de siembra, condiciones climáticas, etc.) y del genotipo (cultivares). La figura muestra también que un 72% del peso final del grano se encontró en la pepa. Esta proporción puede variar entre 65 y 80% en los cultivares sembrados actualmente.

La mayor parte del aceite del fruto se encuentra en la pepita. El porcentaje de aceite de los frutos dependerá por lo tanto principalmente de dos factores:

- a) la proporción del peso seco total del fruto que es ocupado por la pepita, comúnmente indicada a través de la relación cáscara/pepita.
- b) la concentración de aceite en la pepita (porcentaje de aceite de la pepita).

Ambos factores pueden variar por efectos del genotipo y el ambiente. La relación cáscara/pepita está determinada de manera genética en un alto grado, siendo una elevada proporción de cáscara (componente pobre



**Figura 27.** Crecimiento del fruto en función del tiempo, separando el crecimiento del pericarpio y del embrión. El pericarpio adquiere rápidamente su peso definitivo (Pereyra, resultados no publicados).

en materia grasa) una característica común entre los cultivares de bajo porcentaje de aceite. Cambios en la relación cáscara/pepita también han sido detectados en nuestros experimentos cuando las plantas fueron sembradas a densidades menores de 30000 plantas por hectárea. Por su parte, el porcentaje de aceite de la pepita parece poder explicar una parte muy importante de los cambios que por efecto ambiental puede presentar el porcentaje de aceite de un mismo cultivar. Variaciones del porcentaje de aceite en pepita explicaron casi totalmente grandes variaciones del porcentaje de aceite de los frutos (8 puntos de aceite) obtenidas en uno de nuestros experimentos cuando se modificó la cantidad interceptada por las plantas durante la etapa de llenado. La determinación del porcentaje de aceite y los efectos del genotipo y el ambiente sobre el mismo son desarrollados en mayor extensión en la sección 7.

## **7. La determinación de la calidad del fruto producido.**

El porcentaje de aceite de los frutos es una de las características que determinan en mayor medida la calidad del fruto como materia prima para su industrialización. Su inclusión dentro del estándar de comercialización nacional lo convierte en un factor esencial al influir significativamente en la formación del precio del producto cosechado (ver sección 1).

Estrictamente, el porcentaje de aceite depende de la cantidad relativa de los otros componentes de la composición química del fruto (proteínas, hidratos de carbono y minerales). La misma está principalmente determinada, como fue adelantado en la sección 6, por la relación cáscara/pepita (la cáscara está fundamentalmente compuesta por hidratos de carbono) y por la concentración de aceite en la pepita en relación a las otras fracciones químicas citadas. Ambos factores se encuentran determinados genéticamente pero los efectos del ambiente pueden alterar fuertemente la expresión de dicha información genética, modificando así la relación entre las fracciones químicas del fruto, y en consecuencia su porcentaje de aceite.

### **7.1. El aceite es sintetizado en los frutos durante la etapa de llenado.**

Como fue puntualizado en la sección 1, la definición del porcentaje de aceite se produce en un período relativamente corto en relación a la duración del ciclo del cultivo, durante la etapa de llenado de los frutos (Figura 2). La evolución del porcentaje de aceite del fruto (Figura 28) se produce siguiendo principalmente el aumento de tamaño de la pepita (Figura 27) y de la concentración de aceite en la misma. Esta evolución puede ser asimilada a una curva de tipo sigmoideo, con una etapa de

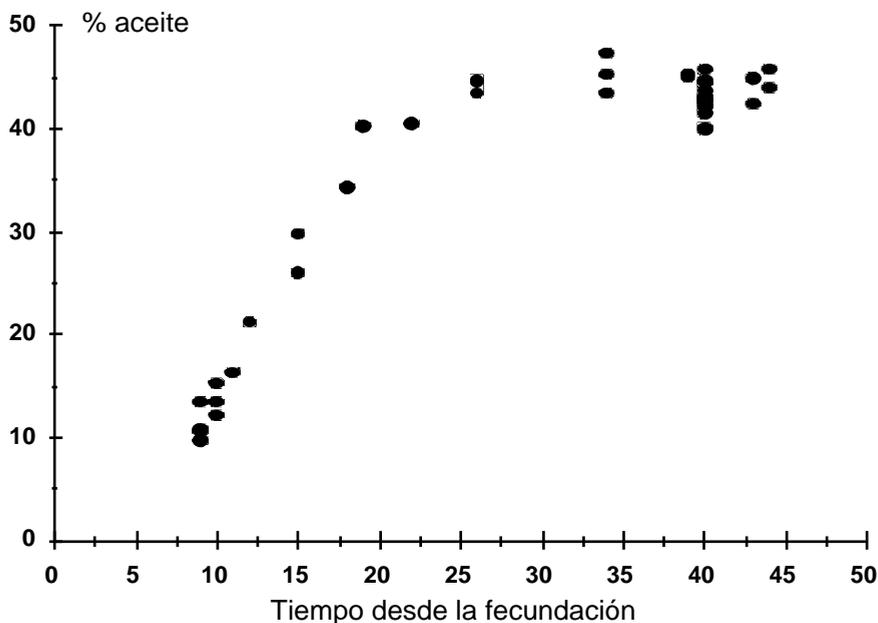
rápido crecimiento (Figura 28). El porcentaje de aceite final será por lo tanto principalmente determinado por el aumento diario del mismo (% de aceite por día) durante la fase lineal o de rápido crecimiento de dicha curva y/o por la longitud de tiempo en que la fase lineal se produce (duración de la fase). Los resultados presentados en la figura 28 muestran que esta duración es notoriamente corta. Por ello, para obtener un porcentaje de aceite cercano al potencial del cultivar, es importante que la misma no sea reducida aún más por aquellos factores que acortan el período de llenado (déficit hídricos, enfermedades, etc.).

El aceite de girasol está compuesto principalmente por triglicéridos. La síntesis de estos triglicéridos se realiza, principalmente a partir de hidratos de carbono, en las células de los frutos. Los triglicéridos formados son posteriormente almacenados en organelas denominadas cuerpos grasos, situadas en el citoplasma de las mismas.

Los frutos del girasol, careciendo de tejido verde, no poseen la capacidad de fotosintetizar. Los hidratos de carbono utilizados para sintetizar los triglicéridos provienen por lo tanto de otros tejidos y son transportados por el floema hasta a los frutos, principalmente en forma de sacarosa.

Las principales fuentes de hidratos de carbono para la síntesis del aceite son:

- La fotosíntesis que se realiza en forma contemporánea al llenado de los frutos.
- Los hidratos de carbono de reserva, almacenados principalmente en el tallo. Los mismos fueron sintetizados gracias a la fotosíntesis realizada en las etapas anteriores a la floración.



**Figura 28.** Evolución del porcentaje de aceite del fruto en función del tiempo después de la fecundación. Cada punto representa el porcentaje de aceite de los frutos de una planta de la cual se conocía la fecha precisa de fin de fecundación. El híbrido utilizado fue Dekalb G100, sembrado en una fecha tardía. (Dosio, resultados no publicados)

La mayor proporción de los hidratos de carbono utilizados para la síntesis de aceite y el llenado de los granos proviene de la fotosíntesis contemporánea a dichos procesos, tal como lo sugieren varios de nuestros experimentos en los que las plantas fueron defoliadas o sombreadas durante dicha etapa de llenado. En consecuencia, todo factor ambiental que afecte la fotosíntesis durante el llenado de los granos o el transporte de carbohidratos a los mismos durante esta corta etapa es potencialmente capaz de afectar la acumulación del aceite en los frutos.

## **7.2. El porcentaje de aceite máximo que puede expresar un cultivar está definido genéticamente.**

El porcentaje de aceite está definido en parte genéticamente. Diferentes cultivares presentan diferencias en el porcentaje de aceite que pueden potencialmente expresar. Esto se evidencia en la Tabla 9 donde se presentan los porcentajes de aceite promedio, máximo y mínimo absoluto producidos por cinco híbridos sembrados en tres campañas en 11 localidades. Así por ejemplo, NK Punta produjo en promedio 49,6% de aceite, mientras que el porcentaje de aceite de los frutos de Morgan 734 fue menor (43,6%). El máximo contenido porcentual registrado para este último fue también sensiblemente inferior al registrado por NK Punta (48,7 *versus* 54,3% ,respectivamente).

La elección del cultivar a sembrar es por lo tanto una decisión técnica fundamental si una de las metas del cultivo es la obtención de un elevado porcentaje de aceite, tal como lo fundamentan los resultados presentados en el párrafo anterior. Sin embargo, debe destacarse que si bien existen en el mercado algunos materiales que poseen un porcentaje de aceite potencial relativamente bajo, estos presentan a menudo otras ventajas tales como buen rendimiento o buena resistencia a enfermedades que pueden justificar su elección a pesar del citado inconveniente.

## **7.3. El ambiente puede modificar de manera importante el porcentaje de aceite.**

El ambiente puede hacer variar fuertemente el porcentaje de aceite. Así por ejemplo, el porcentaje de aceite promedio calculado para cinco diferentes localidades, tomando como base los cinco cultivares analizados en la Tabla 9 presentó diferencias de hasta 6,5 puntos (Tabla 10). El porcentaje de aceite producido por un mismo cultivar puede

**Tabla 9.** Promedio, máximo y mínimo absoluto del porcentaje de aceite producido por cinco híbridos sembrados durante tres campañas (1991/92, 1992/93 y 1993/94) en 11 localidades argentinas: Reconquista, Paraná, Barrow, Balcarce, Pieres, Bellocq, Manfredi, Rafaela, Saenz Peña, Oriente y Bordenave. (Tomado de Dosio y Marín 1994)

<b>Híbridos</b>					
<b>% aceite</b>	<b>ACA 884</b>	<b>NK Punta</b>	<b>Funks Rancul</b>	<b>Morgan 734</b>	<b>Dekalb G100</b>
<b>Promedio</b>	46.6	49.6	47.8	43.6	47.8
<b>Máximo</b>	54.3	54.0	53.7	48.7	54.3
<b>Mínimo</b>	38.6	45.0	41.4	38.6	40.5

presentar grandes variaciones entre años, regiones, fechas de siembra, etc. Esto se evidencia en los resultados presentados en la Tabla 9, que muestran que la diferencia en el porcentaje de aceite máximos y mínimos producidos por distintos híbridos pueden llegar a ser de más de 15 puntos de aceite. Estas diferencias para un mismo híbrido sembrado en distintos ambientes (aún en la misma región en diferentes

**Tabla 10.** Promedio, máximo y mínimo absoluto del porcentaje de aceite producido en cinco localidades por cinco híbridos sembrados en tres campañas (1991/92, 1992/93 y 1993/94). Los híbridos son los mismos que fueron utilizados para calcular los resultados presentados en la Tabla 9. (Tomado de Dosio y Marín 1994)

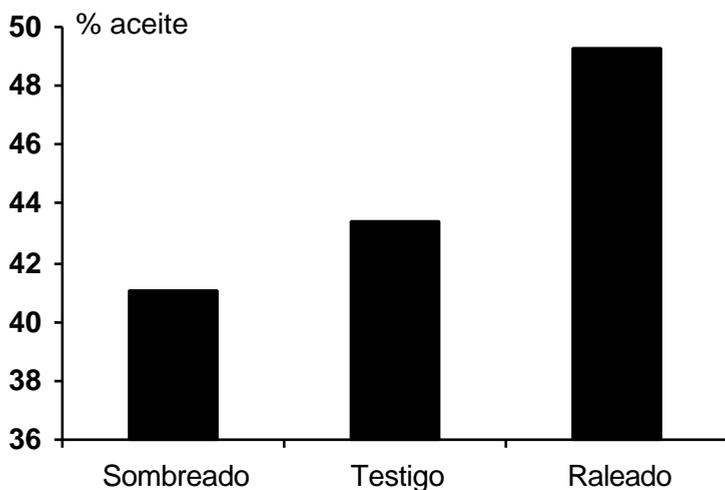
<b>Localidades</b>					
<b>% aceite</b>	<b>Reconquista</b>	<b>Paraná</b>	<b>Barrow</b>	<b>Balcarce</b>	<b>Manfredi</b>
<b>Promedio</b>	48.3	48.4	47.0	44.8	41.9
<b>Máximo</b>	51.5	51.2	50.3	48.8	45.0
<b>Mínimo</b>	43.7	45.2	42.0	40.4	40.2

años) son a menudo mayores que las que se producen en promedio entre híbridos de alto y bajo porcentaje de aceite. Lo antedicho resalta la importancia de compatibilizar, a través de adecuadas prácticas agronómicas, la demanda del cultivo durante la etapa en la que se define el porcentaje de aceite (ver sección 1) con las etapas de la estación de crecimiento en que la oferta ambiental es favorable con miras a lograr que el material genético elegido pueda expresar su potencialidad para producir aceite.

#### **7.4. Varios factores climáticos y edáficos pueden afectar de manera importante el porcentaje de aceite.**

Las condiciones climáticas y edáficas en que se desarrolla el cultivo antes y durante la etapa de llenado de los frutos pueden afectar el porcentaje de aceite. Las condiciones anteriores al comienzo de la síntesis del aceite en los frutos determinan la estructura y el estado del aparato foliar, fuente de los hidratos de carbono necesarios para dicha síntesis. Las condiciones imperantes durante la etapa de llenado determinan el mantenimiento y funcionamiento de dicho aparato foliar y en consecuencia pueden modificar la acumulación de aceite en los frutos.

Tal como fue establecido en el punto 7.1, todo factor ambiental que afecte la fotosíntesis total de la planta durante el llenado es potencialmente capaz de afectar la acumulación del aceite en los frutos. La alimentación hídrica es uno de los factores que puede afectar más fuertemente la fotosíntesis total de la planta, principalmente porque un estrés hídrico durante la etapa de llenado puede disminuir la duración del follaje por un aumento de la

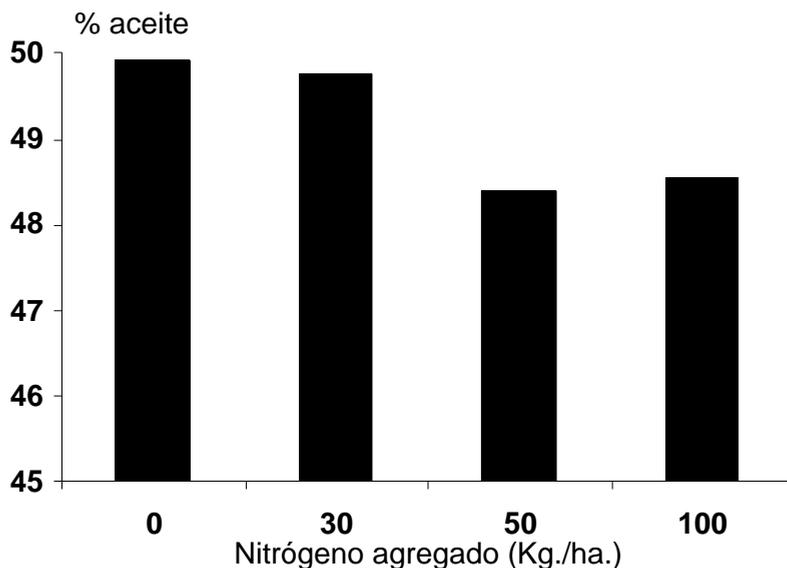


*Figura 29. Porcentaje de aceite producido para tres niveles de radiación interceptada por las plantas durante la etapa fin de floración-madurez fisiológica. Se utilizó el híbrido Dekalb G100, sembrado en Balcarce en una fecha tardía. (tomado de Dosio et al 1995 b)*

senescencia de hojas (ver sección 3). El nivel de radiación interceptada por la planta durante la etapa de llenado de los frutos afectó también fuertemente el porcentaje de aceite de los frutos en experimentos en los que dicho factor fué modificado sombreando para reducir la radiación incidente o raleando al final de la floración para aumentar la cantidad de radiación interceptada por planta durante dicho período (Figura 29).

La duración de la superficie foliar en la etapa de posfloración se encuentra también determinada por la disponibilidad de nitrógeno, nutriente que es absorbido principalmente en etapas anteriores a la antesis (Figura 10). Sin embargo, un nivel excesivo de nutrición nitrogenada puede traer aparejado un aumento del porcentaje de proteínas de los frutos en desmedro del porcentaje de aceite. Esto fue

evidenciado cuando se aumentó el nitrógeno disponible para las plantas en un suelo



*Figura 30. Porcentaje de aceite producido por plantas del híbrido Dekalb G100 a las que se aplicaron diferentes cantidades de nitrógeno en forma de urea. (Sosa, Echeverría y Aguirrezábal, resultados no publicados).*

con buena provisión de dicho nutriente. El crecimiento y rendimiento de las plantas tratadas fueron similares a los del testigo, pero el porcentaje de aceite decreció en los dos tratamientos con mayor nivel de nitrógeno (Figura 30)

## **7.5. El porcentaje de aceite puede ser modificado mediante el manejo del cultivo.**

Los resultados y comentarios presentados en esta sección muestran que el aprovechamiento de la potencialidad genética de los materiales de

girasol para producir aceite requiere principalmente de la maximización de la fotosíntesis de la planta en la etapa de llenado, sobre todo a través del mantenimiento de una adecuada superficie foliar que intercepte radiación. Se deberían aplicar por lo tanto aquellas prácticas de manejo que apunten a obtener una cubierta que maximice la intercepción de energía lumínica al comienzo de la etapa de síntesis del cultivo y prolongar la vida del follaje el mayor tiempo posible.

En el sistema extensivo de manejo de girasol (el más extendido en Argentina) es aconsejable llegar con un IAF de 3 a la floración y tratar de mantenerlo en el tiempo. La elección de la fecha de siembra y la obtención de una adecuada densidad son, por lo tanto, herramientas útiles para lograr dicho objetivo, ya que estas prácticas permiten modificar la cantidad de energía lumínica que intercepta el cultivo durante el período de síntesis de aceite (ver sección 4). Así por ejemplo, en fechas de siembra tardías la etapa de llenado se produce cuando la radiación solar incidente es baja lo que ocasiona un nivel de fotosíntesis subóptimo.

La aplicación oportuna de tratamientos fitosanitarios (por ejemplo, el control de insectos) es importante para mantener una adecuada cobertura foliar durante la etapa de llenado. Trabajos en los que las plantas fueron defoliadas total o parcialmente mostraron que el porcentaje de aceite fue muy sensible a pérdidas de superficie foliar durante el citado período. Es importante sin embargo observar que el cultivo no haya llegado al estadio de madurez fisiológica. En efecto, tal como es desarrollado en el próximo punto, daños posteriores al mismo no afectarán el peso individual de los frutos ni el porcentaje de aceite, haciendo innecesaria la aplicación de los citados tratamientos.

La fertilización y el riego permitirían mejorar las posibilidades de manejo de la cobertura foliar con miras a aumentar su duración durante la etapa de llenado. Una buena nutrición mineral es necesaria para obtener una cobertura adecuada y un buen funcionamiento foliar. Sin embargo, como fue tratado en la sección 3, los requerimientos de N y P parecen ser

cubiertos por la oferta del suelo en gran parte del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Además, en suelos de elevada fertilidad la aplicación de fertilización nitrogenada debería ser analizada caso a caso, ya que tal como lo sugieren los resultados presentados en la figura 30, una dosis excesiva de fertilizante podría traer aparejada una disminución del porcentaje de aceite, sin una mejora correspondiente en el rendimiento. La aplicación de riegos oportunos podría ayudar a mantener un buen nivel de fotosíntesis durante la etapa de llenado, especialmente porque un déficit hídrico puede acelerar fuertemente la senescencia foliar. Debe destacarse que en algunos de nuestros experimentos en los que se aplicaron riegos en la etapa de posfloración la incidencia de enfermedades foliares y del capítulo aumentó. La utilización de la práctica del riego en dicha etapa será por lo tanto más segura cuando se la combine con la utilización de materiales resistentes y/o métodos de lucha contra dichas enfermedades.

## **7.6. Madurez fisiológica: el porcentaje de aceite y peso seco finales de los frutos han sido alcanzados.**

Madurez fisiológica es, en sentido estricto, el estadio en el que se logra un embrión viable, potencialmente capaz de originar una nueva plántula. En el caso del girasol, la viabilidad del embrión, se obtiene muy tempranamente, antes de los 20 días después de la fecundación, cuando no se ha alcanzado el máximo peso seco del conjunto de frutos de un capítulo y el máximo porcentaje de aceite. Desde el punto de vista productivo (enfoque que es adoptado en esta obra), se considera que el girasol se encuentra en el estadio de madurez fisiológica cuando los frutos alcanzan el máximo peso seco (el máximo porcentaje de aceite es alcanzado generalmente 2-3 días antes). En experimentos realizados con híbridos de ciclo corto y largo, se determinó que los máximos pesos secos de los frutos y de aceite coincidieron con un porcentaje de humedad de los frutos entre 33 y 41%.

La determinación del estadio de madurez fisiológica es de suma importancia, ya que, como fue anticipado, prácticas tales como el control de insectos son innecesarias una vez alcanzada la misma. Experiencias en las que se siguió semanalmente la evolución del peso seco de frutos permitieron determinar que dicho momento coincidió en materiales de diverso ciclo con el viraje del color de las puntas de las brácteas del capítulo de verde amarillento a marrón. En dicho momento el receptáculo posee un color amarillo intenso. En los mismos experimentos se detectaron importantes diferencias en la duración del período madurez fisiológica-madurez comercial debidas a diferentes condiciones ambientales durante el secado. En cambio no se detectaron diferencias en la duración de este período entre materiales genéticos.

## 8. Consideraciones finales.

Como fue puntualizado en la Introducción de esta obra, el potencial de rendimiento en grano y porcentaje de aceite de cada cultivar de girasol se encuentra determinado genéticamente. La elección del material a sembrar es por lo tanto una decisión técnica fundamental para alcanzar los objetivos de producción deseados. La posibilidad de expresar la información genética del cultivar para la producción de granos y aceite dependerá sin embargo de las condiciones del ambiente durante el ciclo del cultivo, es decir de diversos factores climáticos, edáficos y biológicos (enfermedades, plagas animales, etc.) que afectan su crecimiento y desarrollo.

Muchos de los factores ambientales citados en el párrafo anterior no son controlables en los cultivos extensivos de girasol. Sin embargo, las variaciones de algunos de ellos son esperables y relativamente predecibles a una escala de tiempo bisemanal o mensual, como por ejemplo los cambios en la temperatura y radiación solar incidente a lo largo del ciclo de cultivo, mientras que otros, como la capacidad potencial del suelo para aportar nutrientes a las plantas, son caracterizables. Es posible por lo tanto compatibilizar a través de prácticas agronómicas los estadíos críticos para la determinación de los componentes del rendimiento con los momentos en los que esperamos que la oferta del ambiente sea más favorable para su expresión.

La obtención de un buen rendimiento en grano en girasol se encuentra, como en otros cultivos, asociada a la producción de un elevado número de frutos por unidad de superficie. Para ello es necesario obtener un buen estand de plantas y un elevado número de frutos por planta. Como ya fue explicado, para lograrlos es necesario implantar el cultivo a una densidad superior a las 35000 plantas uniformemente distribuidas y maximizar la fotosíntesis durante los estadíos cercanos a la

floración (aproximadamente 20 días antes y 20 días después de la misma). Si en combinación con estos objetivos se logra una buena fotosíntesis durante la etapa de llenado, en la que se definen el peso individual de los frutos y su porcentaje de materia grasa, sería posible manifestar gran parte del potencial de producción de aceite y rendimiento en grano del genotipo sembrado. Tal como fue tratado extensamente, la maximización de la fotosíntesis del cultivo durante las etapas claves para la definición del número de frutos y del llenado puede ser posible principalmente a través de la obtención de una cubierta foliar que intercepte la mayor parte de la radiación solar incidente en condiciones en que el nivel de este factor climático es aún elevado (por ejemplo, en Balcarce antes del mes de marzo).

En el sistema extensivo de producción de girasol, el más común en Argentina, las prácticas agronómicas más adaptadas para lograr el citado objetivo de interceptar la mayor parte de la radiación solar incidente en condiciones en que el nivel de este factor climático es aún elevado son la elección del ciclo del cultivar, de la densidad a sembrar y de la fecha de siembra. A través de estas prácticas se debería intentar obtener un IAF de entre 2 y 3, antes por lo menos del estadio de botón floral y mantenerlo luego lo más posible, evitando pérdidas de área foliar causadas por ataque de plagas. La elección del cultivar a sembrar definirá también su capacidad para tolerar o resistir efectos adversos de algunos de factores ambientales (como por ejemplo sequías, enfermedades, etc.) pudiendo en consecuencia determinar también en gran medida la expresión de los componentes del rendimiento y del porcentaje de aceite.

La intensificación del sistema de cultivo de girasol, tal como lo sugieren la aplicación de la fertilización y riego por un cierto número de productores, antes inexistente, y la inducción de la misma por algunas políticas de fomento agropecuario permitiría en general aumentar de manera importante las prácticas de intervención para maximizar el rendimiento y el porcentaje de aceite. En el caso de la aplicación de fertilizantes, excepto en el caso de su utilización como "arrancador" para

mejorar la implantación del cultivo, la misma debería ser razonada caso por caso, ya que el aporte del suelo ha demostrado en muchos casos ser suficiente para la obtención de los máximos rendimientos zonales y que el porcentaje de aceite de plantas fertilizadas en demasía con nitrógeno puede ser deprimido. Por su parte, la aplicación de riegos oportunos permitiría afinar el manejo de la superficie foliar y aumenta en muchos casos su duración durante el llenado, y asimismo disminuir el riesgo de aborto de frutos por una sequía durante la floración.

Las anteriores consideraciones resumen algunos de los principales aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento y porcentaje de aceite de los cultivares actuales de girasol, así como algunas estrategias que posee el agrónomo para aplicar estos conceptos en el objetivo de maximizar los mismos, temas que fueron tratados más extensamente en esta obra. A lo largo de la misma, y especialmente en la secciones 6 y 7, hemos también discutido sobre las posibilidades para aumentar el rendimiento en grano y porcentaje de aceite en girasol. Las consideraciones realizadas nos hacen pensar que estas posibilidades no son numerosas. Algunas de éstas serían:

a) ajustar la respuesta del cultivo a la temperatura, modificando la cantidad de unidades térmicas necesarias para completar una fase de desarrollo, y variando así la duración relativa de las diferentes etapas fenológicas.

b) aumentar el IC mediante una mejor distribución del recurso hidratos de carbono en el sistema fuente destino.

c) aumentar el tamaño de superficie fotosintéticamente activa que intercepta radiación lumínica, principalmente mejorando su distribución dentro del follaje, así como su duración, y adelantar el momento en que el cultivo alcanza el IAF “crítico”.

Aplicando alguna o varias de estas estrategias, los esfuerzos conjuntos de la agronomía y el mejoramiento genético, especialmente con la posibilidad actual de realizar profundas modificaciones en las plantas a través de nuevas biotecnologías, podrán probablemente permitir superar el rendimiento de los cultivares actuales de girasol.

# Anexo 1. Viabilidad, poder germinativo y vigor.

## Pruebas de viabilidad, poder germinativo y vigor de las semillas de girasol. ¿Qué expresan los resultados de cada una de ellas?

Las pruebas de “viabilidad” son las que tienen como fin detectar si una semilla está viva o muerta. Uno de los test más usados es la prueba del “Tetrazolio”. La medición determina para cada semilla si respira o no respira una vez embebida y puesta en buenas condiciones para la germinación. En el caso de los materiales comerciales se suele usar para confirmar que una semilla está muerta cuando una prueba de poder germinativo dio un resultado negativo. Una semilla puede dar positivo al test de Tetrazolio y negativo al de germinación, cuando esa semilla está en estado de latencia ( por ejemplo por la presencia de inhibidores en semillas inmaduras) .

La prueba de "poder germinativo" mide la capacidad de una semilla para producir una planta, aunque en muchos casos sólo se determina la producción de la radícula. La misma se realiza determinado, 11 días después de la siembra el número de semillas germinadas. Por su parte, la medición del número de semillas germinadas a los 7 días desde la siembra se denomina “energía germinativa”. Esta última, al igual que la prueba de “poder germinativo” estima la capacidad de la semilla de producir una planta, pero además expresa que si la germinación puede ser rápida. Estas pruebas se realizan en óptimas condiciones de temperatura y humedad para la germinación, razón por la cual no puede detectar la capacidad de producir una planta vigorosa en condiciones sub-óptimas. Para subsanar estos problemas se están utilizando actualmente las llamadas pruebas de “vigor”.

Entre las pruebas de “vigor” más utilizadas se encuentran las llamadas de “frío” y las de “metanol”. La primera consiste en someter a las semillas a una germinación en arena a baja temperatura, midiendo el tamaño de la planta producida. El segundo, mide la capacidad de germinación, luego de envejecer artificialmente la semilla, aumentando la diferencia entre semillas aptas y endebles.

## **¿Cuándo y por qué utilizar las diferentes pruebas de germinación?**

Para obtener buenos rendimientos y porcentajes de aceite es necesaria una correcta implantación del cultivo. En efecto para realizar un uso eficiente de los recursos es necesario concretar un estand de plántulas distribuidas uniformemente, a la densidad planeada (para más detalles, ver sección 2). Para ello, es indispensable que la semilla a sembrar sea capaz de germinar y emerger de manera rápida y uniforme. Es por lo tanto fundamental conocer su aptitud para la germinación y para producir una plántula sana y vigorosa.

La legislación argentina establece que las semillas de girasol comercializadas deben poseer un 85% de poder germinativo, es decir en la medición realizada a los 11 días en condiciones óptimas. Dicho valor no garantiza que las mismas sean capaces de germinar rápidamente ya que la energía germinativa puede ser notablemente menor en semillas con estas características. Esta última medición (realizada a los 7 días) y que no está indicada en el marbete de las bolsas de semillas no debería ser inferior al 90% para asegurar una rápida germinación.

A pesar que el poder germinativo de las semillas comercializadas debe ser igual o superar el 85%, estudios realizados en la Unidad Integrada Balcarce durante tres años sobre 21 híbridos comerciales demostraron que este resultado sólo fue alcanzado en el 50% de las muestras. En el 15% de las mismas se obtuvo menos de 50% de poder germinativo

(Pereyra, resultados no publicados). Lo antedicho, así como lo expresado en el párrafo anterior, sugiere que la energía y poder germinativo de todos los lotes de semillas a sembrar deberían ser analizados para asegurarnos de su calidad.

Tal como fue expresado en la sección 2 , una buena germinación en el campo puede lograrse con una buena preparación de la cama de siembra (humedad y densidad de suelo adecuada), temperatura del suelo superior a 15°C, semilla uniforme en tamaño, de buen vigor, energía y poder germinativos, y finalmente, una labor de siembra que asegure una correcta colocación de la semilla y del fertilizante en cuanto a profundidad y compactación. Conocer el vigor de las semillas puede ser especialmente importante en siembras tempranas, donde el proceso de germinación puede ser lento y/o cuando las condiciones de preparación pueden no ser las óptimas (por ejemplo, en algunas siembras con labranza cero). Debe remarcarse que los citados análisis pueden ser efectuados en numerosos laboratorios y que sus costos son relativamente bajos, especialmente si se considera que pueden permitir conocer la capacidad de la semilla para determinar uno de los componentes del rendimiento, el número de plantas por unidad de superficie (ver sección 1), y por ende la performance del cultivo.

## **Anexo 2. Utilización de la curva de dilución del nitrógeno para conocer el estatus nitrogenado del cultivo.**

### **Metodología utilizada para la toma de muestras.**

En un Argiudoll Petrocálcico se condujo un cultivo del híbrido Dekalb G100 sin limitaciones de humedad del suelo. En diferentes estadíos desde el estado de 4 pares de hojas hasta la floración se extrajeron, de tres repeticiones, entre 3 a 5 plantas por cada repetición. Estas fueron secadas en estufa hasta peso constante y pesadas para determinar la materia seca de cada planta, obteniendo a partir de esos resultados la materia seca promedio por planta para cada repetición. Se reunieron las plantas correspondientes a cada repetición y se procedió al molido de esta muestra conjunta, el cual fue homogeneizado. El porcentaje de nitrógeno en la materia seca promedio por estadío y repetición se determinó sobre el molido en un laboratorio de análisis.

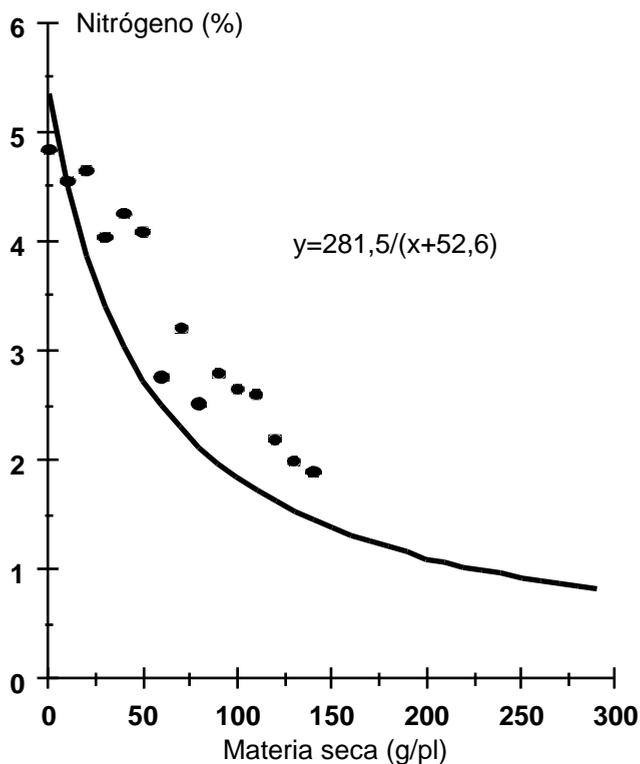
### **Determinación del estatus nitrogenado del cultivo.**

Se graficó el porcentaje de nitrógeno en la materia seca en función de la materia seca promedio por planta (Figura A2.1). En la misma figura se graficó también los porcentajes de nitrógeno calculados para diferentes valores de materia seca a través de la curva establecida por Merrien (1992)<sup>6</sup>. Dicha curva fue establecida por regresión utilizando pares de datos de porcentaje de nitrógeno y materia seca de cultivos que desarrollaban la máxima tasa de crecimiento. Así, se considera que aquellos puntos que se encuentran por debajo de la curva de dilución son deficientes en nitrógeno. Los puntos que se encuentran por encima

---

<sup>6</sup> Merrien, A. 1992. Physiologie du tournesol. CETIOM (Paris). 65pp.

poseen un mayor porcentaje de nitrógeno que el necesario para obtener el máximo crecimiento. Puede notarse que en el experimento descrito los puntos se sitúan, excepto en el primer muestreo, por encima de la curva correspondiendo por lo tanto a este último caso, a pesar que el cultivo no había recibido fertilización.



**Figura A2.1.** Porcentaje de nitrógeno en la materia seca en función de la materia seca por planta. Símbolos: resultados experimentales obtenidos en Balcarce para un cultivo regado y no fertilizado. Línea : regresión calculada por Merrien (1992). (Sosa, Echeverría y Aguirrezábal, resultados no publicados).

La metodología desarrollada en este anexo ha sido probada en numerosas especies por diversos autores, mostrando que las ecuaciones calculadas para una misma especie son robustas y utilizables en

diferentes condiciones de cultivo. La simplicidad de la misma (la materia seca puede ser fácilmente determinada en una estufa y el porcentaje de nitrógeno representa un estudio de rutina en laboratorios de análisis de suelos y plantas) la constituye en una herramienta útil para determinar el estatus nitrogenado del cultivo. La misma podría ser valiosa en regiones en las que existan pocos conocimientos sobre las necesidades de aporte de nitrógeno para el cultivo. Debe, de todas maneras tenerse en cuenta que la utilización de esta metodología para estimar la necesidad de fertilización durante un cultivo tiene como inconveniente que, tal como se desarrolló en la sección 3, la mayor parte del nitrógeno es absorbido por la planta en estadíos del crecimiento relativamente tempranos y aportes tardíos pueden no ser útiles. Además, este método no es utilizable para juzgar el estatus nitrogenado del cultivo en estadíos posteriores a la floración. Luego de dicho estadío la composición de la materia seca de las plantas cambia, ya que comienza la síntesis de aceite en los frutos. La composición de resultados obtenidos en esas condiciones con la curva preestablecida no es por lo tanto válida.

## Anexo 3. Estimación de la superficie de las hojas en el campo.

### Metodología utilizada para establecer las ecuaciones.

A partir de plantas de girasol que se encontraban en diferentes estados de desarrollo, se recolectaron hojas de varios tamaños. En las mismas se determinó el ancho máximo y la superficie de la lámina (mediante un planímetro) . Usando como variable independiente el ancho y como dependiente el área foliar se determinaron curvas de regresión para tres tamaños de hojas.

Como puede verse en el Tabla A3.1 , los conjuntos analizados de valores del ancho de la hoja y de la superficie foliar correspondiente tienen un alto grado de asociación. En efecto, los elevados  $r^2$  muestran la bondad de ajuste entre los valores estimados por las ecuaciones de regresión y los valores reales medidos con un planímetro.

*Tabla A3.1. Valores de  $r^2$  para cada uno de los conjuntos de hojas analizados.*

Conjunto	$r^2$	Nº de hojas
1- Hojas chicas	0.971	100
2- Hojas medianas	0.897	100
3- Hojas grandes	0.926	100
4- Total de hojas	0.986	300

Para el conjunto formado por todas las hojas de los diferentes tamaños, el valor de  $r^2$  es el más alto pero esto se debe al mayor número de grados de libertad con que se opera en este caso. Su elevado valor absoluto puede llamar la atención, sin embargo no dista mucho de los valores encontrados anteriormente por Pereyra (1978) de 0,967 y por Schneiter (1978)<sup>7</sup>. En base a la información se eligió a la ecuación del conjunto de todas las hojas como modelo primario para la confección de la escala de estimación. Sin embargo, esta ecuación ( $y = -15,2 + 4,29x + 0,56x^2$ ), presentaba un inconveniente. Al tener un coeficiente alfa distinto de cero (-15,2) era evidente que las estimaciones de valores pequeños se apartarían de los valores reales posibles. Es por ello que para mejorar las estimaciones de esta parte en la escala a construir, se utilizó la ecuación lograda mediante el estudio realizado con las hojas más chicas. Como a su vez esta ecuación también tenía un coeficiente alfa diferente de cero, aunque muy cercano, se calculó la ecuación más cercana que pasara por el origen.

### **Ecuaciones para la estimación de la superficie foliar.**

Como consecuencia de lo desarrollado en el punto anterior, las dos ecuaciones seleccionadas fueron:

Para valores de X (ancho) entre 0 y 21 cm:

$$Y = 0,8 X + 0,697 X^2$$

Donde Y es la superficie de la hoja.

Para valores de X (ancho) superiores a 21 cm:

$$Y = - 15,2 + 4,297 X + 0.565 X^2$$

---

<sup>7</sup> Schneiter, A.A. 1978. Non destructive leaf area estimation in sunflower. *Agronomy Journal*. 70:141-142.

## Construcción de una regla de estimación de la superficie foliar.

Con las ecuaciones citadas en el punto anterior puede ser construida una regla donde la medida del ancho de hojas es reemplazada por la superficie calculada. Esta regla permite estimar el área foliar con una precisión aceptable, con una mejora de la velocidad de trabajo en relación a los métodos que necesitan medir el ancho y el largo, y sin destruir el material medido como ocurre con el empleo de los aparatos medidores electrónicos. Estos últimos no han sido, por el momento, diseñados y/o adaptados para permitir una medición no destructiva de la superficie foliar del girasol.

*Tabla A3.2. Secuencia de pares de valores calculados para una serie donde el ancho se incrementa en dos centímetros.*

ancho cm	área estim. cm <sup>2</sup>	ancho cm	área estim. cm <sup>2</sup>
3	8.67	23	383.71
5	21.42	25	445.54
7	39.75	27	512.89
9	63.65	29	584.77
11	93.13	31	661.16
13	128.19	33	742.08
15	198.83	35	827.51
17	215.03	37	917.46
19	266.81	39	1011.94
21	324.17	41	1110.93

Como referencia se dan en la Tabla A3.2, los valores de ancho y área estimada. Con los mismos se puede construir la regla ya mencionada.

## Bibliografía.

La bibliografía citada a continuación está constituida por trabajos realizados por investigadores del grupo de trabajo en girasol: Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP) - E.E.A. INTA Balcarce y Departamento de Agronomía (UNS) y ha sido utilizada para la realización del presente trabajo.

Aguirrezábal L.A.N. 1986. Efecto del tamaño de los frutos de girasol sobre el desarrollo y el rendimiento de la planta en diferentes condiciones de siembra. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Argentina. 55 pp.

Aguirrezábal L.A.N. 1989. Estudio en condiciones controladas del crecimiento del sistema radical de plántulas de Girasol (Helianthus annuus L. cv. Ludo). Memoria de D.E.A. en Producción Vegetal, Instituto Nacional Agronómico de París-Grignon -Universidad de París XI (Orsay), Francia. 58 pp.

Aguirrezábal L.A.N. 1993. Modelización de la ramificación y el alargamiento del sistema radical del girasol (Helianthus annuus L.). Efecto de la radiación interceptada y de la temperatura. Tesis de Doctorado en Fisiología Vegetal, Universidad Blas Pascal (Clermont Ferrand II), Francia. 90 pp.

Aguirrezábal L.A.N. 1995. Un modelo de crecimiento del sistema radical del girasol que considera el efecto de la radiación interceptada y de la temperatura sobre el alargamiento y la ramificación de las raíces. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 38-45.

- Aguirrezábal L.A.N., Cardinali F.J., Orioli G.A. y Testoni L.S. 1985. Influencia del tamaño de aquenio sobre el crecimiento y rendimiento de la planta de girasol (Helianthus annuus L.). Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Mar del Plata, Argentina. pp. 39-43.
- Aguirrezábal L.A.N., Deleens E. y Tardieu F. 1994a. Root elongation rate is accounted for by intercepted PPFD and source sink relations in field and laboratory grown sunflower . *Plant , Cell & Environment* 17: 443-450.
- Aguirrezábal L.A.N., Dimarco P.E., Orioli G.A. y Miravé J.P. 1989. Efecto del tamaño de aquenio de girasol (Helianthus annuus L.) sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. X Reunión de la Sociedad Latinoamericana de Fisiología Vegetal, Puerto Iguazú. pp. 114.
- Aguirrezábal L.A.N., Orioli G.A., Fleury A. y Pereyra V.R. 1994b. Emergence rate and hypocotyl growth in sunflower hybrids of different plant height. *European Society of Agronomy (3erd Congress)*, Abano-Padova, Italia . pp. 52-55.
- Aguirrezábal L.A.N., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1987. Relación entre superficie foliar y rendimiento en un híbrido enano de girasol. Actas de la V Reunión Técnica Nacional de Girasol, Bahía Blanca, Argentina. pp. 35-39.
- Aguirrezábal L.A.N., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1988. Dinámica foliar en girasoles de diferente altura. Actas de la XII Conferencia Internacional de Girasol, Novi Sad, Yugoslavia. pp. 386-391.
- Aguirrezábal L.A.N., Pellerin S. y Tardieu F. 1993. Carbon nutrition, root branching and elongation. Can the present state of knowledge allow

a predictive approach at a whole plant level? *Environmental and Experimental Botany* 33: 21-130.

Aguirrezábal L.A.N. y Tardieu F. 1993. Tournesol. Prévoir l'allongement du pivot et des racines secondaires. *Oléoscope* 15 (Mayo-Junio) : 22-23.

Aguirrezábal L.A.N. y Tardieu F. 1994a. Modelling the effects of intercepted PPFD and temperature on elongation of the root system of sunflower. *European Society of Agronomy (3er Congress)*, Abano-Padova, Italia. pp. 308-309.

Aguirrezábal L.A.N. y Tardieu F. 1994b. Root elongation rate is accounted for by intercepted light and source sink relations in field and laboratory grown sunflower. *Annual Meeting of Society for Experimental Biology, Journal of Experimental Botany* 45 (Supplement) 35.

Aguirrezábal L.A.N. y Tardieu F. 1995. An architectural analysis of the elongation of the field grown sunflower root system. Elements for modelling the effects of temperature and intercepted radiation. *Journal of Experimental Botany* 47: 411-420.

Assuero S.G., Dimarco P.E., Orioli G.A. y Miravé J.P. 1992. Efecto del sustrato sobre el crecimiento de raíces de girasol. *Actas de la XIX Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal*, Córdoba, Argentina. pp. 1-2.

Beltrano J., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1977. Contribución de las diferentes hojas de la planta de girasol al llenado del grano. *IADO, III Reunión Nacional de Girasol*, Buenos Aires, Argentina. pp. 42-48.

- Carabaca L., Izquierdo N., Arana D., Castaño F.D. y Aguirrezábal L.A.N. 1995. Cultivating immature seeds of sunflower by a simple technique. REDBIO '95. Segundo Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal. A-23.
- Cardinali F.J., Farizo C.L. y Pereyra V.R. 1979. Ensayos de densidades de siembra en girasol. Informe de Actividades 1978/79. Dpto. de Agronomía. INTA Balcarce.
- Cardinali F.J., Farizo C.L. y Pereyra V.R. 1982a. Ensayo de fertilización en girasol. Carpeta de Actualización Técnica en Producción de Girasol. CIAM (Círculo de Ingenieros Agrónomos de Mar del Plata). pp. 13-16.
- Cardinali F.J. y Orioli G.A. 1987. Efecto de variaciones de la intensidad lumínica sobre el rendimiento de plantas de girasol. Actas de la V Reunión Técnica Nacional de Girasol, Bahía Blanca, Argentina. pp. 29-34.
- Cardinali F.J., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1985a. Influencia del momento de emergencia en el desarrollo y producción de un cultivar de girasol. Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Mar del Plata, Argentina. pp. 325-329.
- Cardinali F.J., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1985b. Comportamiento de dos híbridos de girasol a bajas densidades de siembra. Rev.Fac. de Agronomía 6: 131-139.
- Cardinali F.J., Pereyra V.R. y Farizo C.L. 1982c. Comportamiento del girasol a distintas densidades en el centro-sudeste de Buenos Aires. Carpeta de Actualización Técnica en producción de girasol, CIAM (Círculo de Ingenieros Agrónomos de Mar del Plata). pp. 33-35.

- Cardinali F.J., Pereyra V.R., Orioli G.A. and Farizo C.L. 1982d. Effects of defoliation during seed filling of sunflower. Proceedings Tenth International Sunflower Conference, Surfers Paradise, Australia. pp. 26-28.
- Cardinali F.J., Pereyra V.R., Orioli G.A. y Farizo C.L. 1982e. Efecto de distintos niveles de competencia intraespecífica en girasol. X Simposio Nacional y VII Latinoamericano de Oleaginosos, Buenos Aires, Argentina. (Premio Soc. Rural Argentina).
- Dimarco P.E., Assuero S.G., Orioli G.A. y Miravé J.P. 1992. Efecto de la forma del contenedor sobre el crecimiento de raíces de girasol. Actas de la XIX Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal, Córdoba, Argentina. pp. 3-4.
- Dosio G.A.A., y Marín H.G. 1994. Contenido de aceite en girasol. Visión Rural, suplemento N° 12 (Dic.). pp 1-3.
- Dosio G.A.A., Pereyra V.R. y Aguirrezábal L.A.N. 1995a. Influencia de factores ambientales sobre la velocidad de aparición de florecillas masculinas en el capítulo de girasol. XVII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata, Argentina. pp.19.
- Dosio G.A.A., Pereyra V.R., Nolasco S.M. y Aguirrezábal L.A.N. 1995b. Influencia de la radiación interceptada durante el llenado de los frutos de girasol. I Rendimiento de aceite en dos híbridos de girasol de diferente porcentaje de aceite potencial. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp.1-6.
- Dosio G.A.A., Thevenon M., Cardinali F.J. y Aguirrezábal L.A.N. 1995c. Efecto de la radiación fotosintéticamente activa interceptada durante

el llenado de los frutos sobre el vaneo de frutos de girasol. XVII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata, Argentina. pp.20.

Farizo C.L., Pereyra V.R., Cardinali F.J., y Orioli G.A.. 1982a. Determinación de madurez fisiológica y su relación con la cosecha en cultivares de girasol. Boletín Técnico N° 86. EERA-INTA Balcarce.

Farizo C.L., Pereyra V.R., Cardinali F.J. and Orioli G.A. 1982b. Determination of physiological and harvest maturity in sunflower. Proceedings Tenth International Sunflower Conference, Surfers Paradise, Australia. pp. 42-44.

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. UNS. 178 pp.

Hernández L.F. 1988. Organ morphogenesis and phyllotaxis in the capitulum of sunflower (Helianthus annuus L.). Ph.D. Thesis. Dept. of Botany. University of New South Wales. Australia. 217 pp.

Hernández L.F. 1991a. Morphometry and surface growth dynamics of the sunflower (Helianthus annuus L.) receptacle. Its importance in the determination of yield. *Plant & Soil* 1: 91-103.

Hernández L.F. 1991b. Desarrollo reproductivo y rendimiento del girasol aplicando reguladores de crecimiento en condiciones de campo. Actas de la I Reunión Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 83-88.

Hernández L.F. 1991c. Desarrollo localizado de los primordios florales en el receptáculo del girasol. Hipótesis biofísica de su génesis. Actas de

la I Reunion Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 96-101.

Hernández L.F. 1992a. Foliar application of cytokinins increase the reproductive growth efficiency and yield of the sunflower crop. XIII International Sunflower Conference Proceedings, Pisa, Italia. pp. 559-563.

Hernández L.F. 1992b. Extracción de las brácteas involucrales del capítulo de girasol en etapas tempranas de su desarrollo. Actas de la XIX Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal, Córdoba, Argentina. pp. 15-16.

Hernández L.F. 1993a. Dinámica del desarrollo de la superficie meristemática del receptáculo del girasol. Su incidencia en el potencial de rendimiento del cultivo. XX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal, San Carlos de Bariloche, Argentina. pp. 136-137.

Hernández L.F. 1993b. Grain yield of the sunflower capitulum promoted by surgical removal of the involucral bract primordia. Trends in Agricultural Sciences 1: 127-135.

Hernández L.F. 1995. Pattern formation in the sunflower (Helianthus annuus L.) capitulum . Biophysical studies. Biocell 19: 201-212.

Hernández L.F. 1996. Comparative growth analysis of semidwarf and standard height genotypes of sunflower. XIV International Sunflower Conference Proceedings, Beijing, China. pp. 56.

Hernández L.F. y Green P.B. 1993. On the transductions for expression of pattern: Biophysical analysis in sunflower (Helianthus annuus L.). The Plant Cell 5: 1725-1738.

- Hernández L.F. y Green P.B. 1994. Estudio detallado del desarrollo incipiente de los primordios florales del capítulo de girasol (Helianthus annuus L.). Libro de Resúmenes, VI Congreso Latinoamericano de Botánica, Mar del Plata, Argentina. pp. 43.
- Hernández L.F. y Malla L.M. 1995. Anatomía vascular de las hojas del girasol. Su incidencia en la duración del área foliar y el rendimiento del cultivo. Actas del I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 76-81.
- Hernández L.F. y Malla L.M. 1996. Relationship between leaf vascular anatomy and leaf senescence rate in sunflower. XIV International Sunflower Conference Proceedings, Beijing, China. pp. 83.
- Hernández L.F., Malla L.M., Pellegrini C.N., Paladino H.U. y Paoloni P.J. 1996. Peso individual de los frutos en diferentes regiones del capítulo de girasol y su relación con la vascularización del tallo. Actas de la XXI Reunión Nacional de Fisiología Vegetal, Mendoza, Argentina. pp. 64-65.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1982a. Growth analysis of irrigated sunflower at two plant populations. X International Sunflower Conference Proceedings, Surfers Paradise, Australia. pp. 18-21.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1982b. Respuesta de componentes físicos de frutos de girasol ante cambios en la relación fuente-destino. Oleico 20: 12-19.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1983. Estudio comparativo de la estructura foliar, intercepción de luz y rendimiento en girasol. Anales de Edafología y Agrobiología, Madrid 42: 2137-2148.

- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1984. Estudios sobre el desarrollo del fruto de girasol y su importancia en el mejoramiento del rendimiento del cultivo. XI Simposio Nacional y VIII Latinoamericano de Oleaginosos, Santa Fe, Argentina. (Premio Sociedad Rural Argentina)
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1985a. Imbibition and germination rates of sunflower (Helianthus annuus L.) seeds according to fruit size. Field Crops Research 10: 355-360.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1985b. Relationships between root permeability to water, leaf conductance and transpiration rate in sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars. Plant & Soil 85: 229-235.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1985c. Pubescencia foliar en girasol y su influencia sobre la disipación de calor desde la hoja. Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Mar del Plata, Argentina. pp. 13-19.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1985d. Evaluación del esfuerzo reproductivo en el girasol cultivado. Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Mar del Plata, Argentina. pp. 57-60.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1985e. Variaciones edáficas en suelos bajo riego y su influencia en el crecimiento y rendimiento del girasol. Actas de la XI Conferencia Internacional de Girasol, Mar del Plata, Argentina. pp. 227-233.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1991. Participación de la diferentes hojas de la planta de girasol durante el llenado de los frutos. Turrialba 41: 330-334.

- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1992. Incidencia del número de frutos cosechables en la determinación del potencial de rendimiento del cultivo de girasol. *Proceder Agrotecnológico* 4: 56-63.
- Hernández L.F. y Orioli G.A. 1994. El ideotipo del girasol (*Helianthus annuus* L.). Características que lo definen. *AgriScientia* 11: 1-12.
- Hernández L.F. y Paladino H.U. 1996. Desarrollo vegetativo y reproductivo de plantas de girasol crecidas en condiciones controladas y suplementadas con luz ultravioleta (UV-B). *Actas de la XXI Reunión Nacional de Fisiología Vegetal*, Mendoza, Argentina. pp. 66-67.
- Hernández L.F. y Palmer J.H. 1988a. Regeneration of the sunflower capitulum after cylindrical wounding of the receptacle. *American Journal of Botany* 75: 1253-1261.
- Hernández L.F. y Palmer J.H. 1988b. A computer model to create the Fibonacci floret pattern of the sunflower head. XII International Sunflower Conference Proceedings, Novi Sad, Yugoslavia. pp. 150-155.
- Hernández L.F. y Palmer J.H. 1991. Use of colchicine to displace floral organ regeneration sites in the sunflower capitulum. *Electronic Microscopy and Cellular Biology* 14: 159-164.
- Hernández L.F. y Palmer J.H. 1992. Incorporation of <sup>14</sup>C labelled metabolites into the developing sunflower capitulum. XIII International Sunflower Conference Proceedings, Pisa, Italia. pp. 564-570.
- Hernández L.F. y Paoloni P.J. 1995. Respuesta de las plantas a la radiación ultravioleta de onda corta (UV- B). XVII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata, Argentina. pp. 210.

- Hernández L.F. y Paoloni P.J. 1996. Low temperature germination ability of sunflower seeds. Studies using a termogradient plate. XIV International Sunflower conference Proceedings, Beijing, China. pp. 87.
- Hernández L.F., Paoloni P.J., Carrera A.D. y Orioli G.A. 1995. Germinación de semillas de girasol a baja temperatura. Actas del I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 82-86.
- Hernández L.F., Paoloni P.J. y Orioli G.A. 1994. Ritmo de germinación de cinco genotipos de trigo. Efecto de la temperatura. Actas del III Congreso Nacional de Trigo, Bahía Blanca, Argentina. pp. 3-4.
- Hernández L.F., Paoloni P.J. y Pellegrini C.N. 1996. Floret primordia differentiation during capitulum development in sunflower. Influence of daily temperature fluctuations. XIV International Sunflower Conference Proceedings, Beijing, China. pp. 86.
- Miravé J.P. 1981. Estudio de la influencia que tiene sobre la semilla de girasol su ubicación en el capítulo. Tesis de Graduación, Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP. 84 pp.
- Orioli G.A., Pereyra V.R., Beltrano J. y Cardinali F.J. 1977. Acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y uso de energía en un cultivo de girasol. IADO, III Reunión Nacional de Girasol, Buenos Aires, Argentina. pp. 37-41.
- Pellegrini C.N. y Hernández L.F. 1995. Análisis comparativo del desarrollo reproductivo temprano y del rendimiento en dos cultivares híbridos de girasol de diferente ciclo de crecimiento. Actas del I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 30-37.

- Pellegrini C.N., Hernández L.F. y Orioli G.A. 1991a. Algunas características morfológicas en girasol que inciden en su desarrollo reproductivo temprano. Actas de la I Reunión Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 102-107.
- Pellegrini C.N., Hernández L.F. y Orioli G.A. 1991b. Diferencias intervarietales de la fase reproductiva temprana en el girasol y su relación con el rendimiento del cultivo. Actas de la I Reunión Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 176-177.
- Pereyra V.R. 1978. Método rápido para estimar áreas foliares en girasol (H. annuus), Oleico N° 3. pp.35-37.
- Pereyra V.R., Beltrano J. y Orioli G.A. 1977. Densidad de siembra y producción en cultivos de girasol. IADO, III Reunión Nacional de Girasol, Buenos Aires. Argentina . pp. 127-131.
- Pereyra V.R., y Farizo C.L. 1979a. Técnicas de producción de girasol. Reunión de Actualización Técnica sobre producción de girasol, Balcarce. 27 pp.
- Pereyra V.R. y Farizo C.L. 1979b. Estimación del rendimiento de girasol utilizando el diámetro de los capítulos. IV Reunión de Actualización Técnica en producción de girasol, Balcarce, Argentina .
- Pereyra V.R. y Farizo C.L. 1981. Girasol. Técnicas de Producción. INTA Balcarce. 27 pp. (10.000 ejemplares).
- Pereyra V.R. y Farizo C.L. 1982. Caracterización de la producción de girasol en el sud-sudeste de la Provincia de Buenos Aires. INTA. Balcarce. 40 pp.

- Pereyra V.R., Farizo C.L., Cardinali F.J. y Orioli G.A. 1982a. Estimación del área foliar en plantas de girasol. Boletín Técnico N° 87. EERA-INTA Balcarce.
- Pereyra V.R., Farizo C.L., Cardinali F.J. y Orioli G.A. 1982b. Estimation of leaf area on sunflower plants. Proceedings Tenth International Sunflower Conference, Surfers Paradise, Australia. pp. 21-23.
- Pereyra V.R., Farizo C.L., y Colabelli M. 1979. Acumulación de materia seca, de aceite, pérdida de humedad y determinación de madurez fisiológica en semilla de girasol (Helianthus annuus). Reunión de Actualización Técnica sobre Producción de girasol, Balcarce, e Informe de Actividades 1978/79. Dpto. de Agronomía, INTA Balcarce.
- Pereyra V.R. y Orioli G.A. 1980. Características de la planta, crecimiento y desarrollo. Capítulo especial del manual : El cultivo de girasol. INTA.
- Pereyra V.R., Rampello C. y Chachero C. 1977. Producción de girasol. Cartilla para productores. Balcarce.
- Pereyra V.R. y Valetti O.E. 1993. Producción de girasol, manual para productores del Sudeste Bonaerense. CERBAS, INTA Balcarce. 140 pp.
- Pereyra V., Valetti O., Farizo C.L., Catullo J. y Cardinali F.J. 1982c. Manejo en situaciones especiales. Material de divulgación N° 16. INTA Balcarce. pp. 11.
- Riccobene I.C., Dosio G.A.A., Santalla E.N. y Aguirrezábal L.A.N. 1995. Influencia de la radiación interceptada durante el llenado de los frutos de girasol II. Características de frutos ubicados en diferentes

posiciones del capítulo. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 7-14.

Ryan G., Pereyra V.R., Ludueña P. y Perdiguero J. 1979. Producción de girasol en la Argentina. INTA, Buenos Aires.

Sala C.A., Andrade F. y Pereyra V.R. 1991. Variabilidad para la tolerancia a las bajas temperaturas durante la germinación y la emergencia del girasol. Actas de la I Reunión Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 366-371.

Santalla G.M., Riccobene I.C., Aguirrezábal L.A.N. y Nolasco S.M. 1995. Influencia de la radiación interceptada durante el llenado de los frutos .III . Variaciones de la composición acídica dentro del capítulo. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 15-22.

Thevenon M.A., Dosio G.A.A., Cardinali F.J. y Aguirrezábal L.A.N. 1995. Influencia de la radiación interceptada durante el llenado de los frutos de girasol. IV. Rendimiento de diferentes zonas del capítulo y su relación con la vascularización. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosos, Pergamino, Argentina. pp. 23-29.

Valinoti G., Sala C.A., Andrade F. y Pereyra V.R. 1991. Variabilidad genotípica para la tasa de crecimiento relativo durante las fases iniciales del crecimiento del girasol. Actas de la I Reunión Nacional de Oleaginosos, Rosario, Argentina. pp. 407-412.

# Índice.

Los autores.	4
Agradecimientos.	7
Finalidad de esta obra.	8
Introducción.	9
<b>1.</b> El rendimiento y sus componentes.	10
<b>2.</b> La implantación del cultivo.	16
<b>3.</b> La absorción del agua y los nutrientes minerales.	24
<b>4.</b> La intercepción de la radiación lumínica.	36
<b>5.</b> Desarrollo del órgano cosechable.	51
<b>6.</b> La acumulación y partición de la materia seca producida.	60
<b>7.</b> La determinación de la calidad del fruto producido.	73
<b>8.</b> Consideraciones finales.	84
<b>Anexo 1.</b> Viabilidad, poder germinativo y vigor.	88
<b>Anexo 2.</b> Utilización de la curva de dilución del nitrógeno para conocer el estatus nitrogenado del cultivo.	91
<b>Anexo 3.</b> Estimación de la superficie de las hojas en el campo.	94
Bibliografía.	97