

LOS COMPONENTES FISIOLÓGICOS DEL RENDIMIENTO EN LA SOJA

F. Nakayama (1).

INTRODUCCION

Normalmente los rendimientos de los cultivos de soja oscilan entre 1800 y 2200 kg/ha. La cifra más alta en los EE.UU. de Norte América hasta el año 1975 correspondió al estado de Iowa. En la campaña 1972, el promedio en dicho estado fue de 2420 kg/ha sobre un total de 2.450.000 ha cultivadas (69-75).

En la Argentina, el promedio de los dos últimos años fue de 2100 kg/ha (45). Estos rendimientos no reflejan, sin embargo, la capacidad de producción comercial de la soja, ya que son frecuentes rendimientos de alrededor de 3000 kg/ha, registrándose en muchos casos valores superiores a los 4000 kg/ha (69-75).

CARACTERÍSTICAS ECOFISIOLÓGICAS

La soja es una planta de días cortos (8-27). Debido a distintas sensibilidades que presentan los cultivares al fotoperíodo, la adaptación agronómica se restringe a bandas latitudinales estrechas para cada cultivar. Para identificar los cultivares con las regiones de adaptación, se ha creado

para los EE.UU. de Norte América y Canadá, una clasificación con 12 "grupos de maduración", desde el grupo 00 al X (39).

Los cultivares de los grupos de numeración más baja poseen umbrales fotoperiódicos más altos. Esto implica que, para un fotoperíodo dado, florecen y maduran antes que los de numeración más alta. Por tal motivo se adaptan mejor a latitudes altas (29-39-47-69).

Entre los grupos de maduración más precoces se han detectado líneas insensibles al fotoperíodo (16-68).

Los cultivares comerciales actuales hasta el grupo IV, además de su precocidad para la maduración, se caracterizan por poseer un tipo de crecimiento indeterminado. Los cultivares de los grupos V a X responden al tipo de crecimiento determinado (39). No obstante, ambos grupos cuentan con algunas excepciones.

En los cultivares indeterminados luego de iniciada la floración, el ápice del tallo diferencia simultáneamente nuevas hojas y órganos reproductivos. En los culti-

(1) *Cátedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Agronomía. U. N. R. Santa Fe -2051- Rosario - Santa Fe.*

vares determinados, las plantas han completado prácticamente el crecimiento vegetativo al comenzar la floración y el extremo del tallo termina en una inflorescencia (5-13).

La superposición del crecimiento vegetativo con el reproductivo es del orden de un 40% aproximadamente en los cultivos indeterminados y 20% en los determinados (21-59). El destino vegetativo de cultivos indeterminados es fuertemente dominante durante la floración y comienzo del crecimiento de las semillas (32-35).

Con el objeto de intervenir genéticamente sobre la potencial competencia del crecimiento vegetativo se ha incorporado al carácter determinado -ya sea con el gen dt_1 o el Dt_2 descritos por Bernard (21-69)- a líneas indeterminadas. La acción primaria de dt_1 y Dt_2 es acelerar la terminación del crecimiento del ápice del tallo provocando la disminución de la altura y del número de nudos. El efecto de dt_1 es mucho mayor que el de Dt_2 (2).

La incorporación de estos genes a dichas líneas no ha mejorado aparentemente el rendimiento (21-28).

La altura de la planta y el número de nudos son afectados además por la densidad de siembra; a mayor densidad aumenta altura y disminuye el número de nudos por planta (43-48-85-86).

La altura y forma de la planta está determinada en gran medida por la edad a la que es inducida para la floración (29-39-47-69). A medida que la fotoinducción se retrasa, mayor es el crecimiento vegetativo previo a la floración, con lo que se incrementa el número de nudos del tallo principal y el de las ramificaciones. Los nudos representan sitios potenciales de formación de órganos reproductivos y, un mayor número de nudos, posibilita el aumento del número de flores por planta (29-47-63-77-78).

A medida que aumenta el número de ciclos de días cortos posteriores a la floración, se incrementa el peso total de las semillas producidas y disminuye el de los tejidos vegetativos (64-77-78).

Fotoperíodos relativamente largos posteriores a la floración, aumentan la relación peso de tejidos vegetativos/peso de tejidos reproductivos y deprimen el crecimiento de las semillas, así como el peso total de semillas por planta. Con fotoperíodos cortos, el descenso de la temperatura disminuye el crecimiento reproductivo mientras que con fotoperíodos largos, las temperaturas bajas (22/18°C, diurna/nocturna) provocan el incremento del crecimiento reproductivo (64). Temperaturas inferiores a 18/14°C en días cortos, no permiten la formación de frutos aún cuando se haya producido la iniciación floral. El termoperíodo que, a días cortos, permite el mayor peso total de frutos es de 26/22°C, mientras que aquél que permite el mayor peso vegetativo y la mayor área por hoja es de 26/10°C. Termoperíodos con combinaciones de temperaturas relativamente bajas, muestran mayor dominancia apical comparados con temperaturas intermedias (79).

La soja produce una gran cantidad de flores, muchas más de las que normalmente llegan a fruto maduro. Un porcentaje elevado (40 a 80%) de flores y frutos abortan, también se producen abortos de óvulos y semillas en el orden del 2 a 22% (11-30-58-66-69-82).

Situaciones de "stress" inciden sobre estas proporciones, principalmente cuando ejercen su acción durante los períodos de floración o comienzos de fructificación. Los pimpollos, flores y frutos que abortan generalmente caen.

Deficiencias hídricas durante la floración y período temprano de formación de frutos, reducen el número final de éstos, fundamentalmente por la abscisión

de órganos reproductivos. Si durante estos estados la disponibilidad de agua en la planta es alta, la producción inicial de frutos es elevada. Deficiencias posteriores provocan la caída de frutos en importante proporción (33 - 34).

Temperaturas inferiores a 18°C (79 - 82) y superiores a 36°C (57 -82) promueven el aborto de órganos reproductivos. Fotoperíodos relativamente largos, luego de producida la floración, ocasionan una disminución de la tasa de llenado de las semillas y abscisión de frutos (57 -64).

La disminución de la radiación luminosa contribuye en gran medida a la abscisión, fenómeno comprobado mediante el sombreado artificial (57-66). El autosombrado de las porciones inferiores del canopeo, es en parte responsable de la escasa fructificación en esa zona. De igual modo, obedece a dicha causa la pobre respuesta del rendimiento por unidad de superficie, obtenida con densidades de siembra crecientes, que por otra parte es una consecuencia de la alta capacidad de compensación de los componentes del rendimiento que manifiesta esta especie (14-19-22-43-48-62). Altas densidades en siembra temprana, favorecen una mayor altura de las plantas y exponen los cultivos al vuelco (14-43-48-86).

En el Cuadro 1 se resume adecuadamente los componentes del rendimiento de semillas en soja (74).

COMPONENTES FISIOLÓGICOS

Para lograr incrementos en el rendimiento de soja, dos componentes fisiológicos parecen merecer preferente atención: la fotosíntesis y la nutrición. Principalmente la nutrición nitrogenada.

Muchos investigadores consideran que este cultivo ha alcanzado una "barra del rendimiento" (71-75) y, asimismo,

son múltiples los trabajos que intentan superarla. Algunos interpretan que es necesario dar prioridad al aumento en la producción del número de semillas que llegan a la madurez o a la reducción del número de óvulos y semillas abortadas (69-74). Se considera que el medio que cuenta con mayores posibilidades es el aumento en la producción de carbohidratos, para lo cual se debería procurar el aumento de la capacidad fotosintética (69-71).

Fotosíntesis

a) Hoja

Las tasas de fotosíntesis aparente de las hojas de soja muestran valores entre 6 y 65 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ frente a intensidades de saturación de 20 a 160 klux (3-4-17-24-46). Las hojas superiores del canopeo de un cultivo normal presentan tasas fotosintéticas más altas que las hojas inferiores. Las hojas del medio tienen alrededor del 60% de la tasa fotosintética de las superiores, mientras que las hojas inferiores alcanzan sólo un 13%. En las plantas espaciadas, tanto las hojas superiores como las inferiores, poseen tasas muy altas (50 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹) y no se saturan con 15.000 b.p. Las hojas superiores de un canopeo normal, que pueden tener una tasa de 33 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹, se saturan con 10.000 b.p. (3-49). Según el ambiente en que se encuentran, las hojas tienen diferente capacidad fotosintética.

La fotosíntesis aparente generalmente se incrementa alrededor de la época del comienzo de llenado del grano, atribuyéndose esto, en parte, a un incremento de la demanda de fotosintatos por las semillas en formación (44-52). La tasa fotosintética presenta diferencias entre cultivares (24-50) que pueden estar originadas en diferencias en las resistencias difusivas de la hoja (4-17-20-50). La resistencia del mesófilo aumenta con la acumulación de al-

CUADRO 1: Componentes del rendimiento de semillas en soja determinada.

1. Número de nudos por planta (N°) \longrightarrow Tasa de crecimiento vegetativo X
duración del período de prefloración.

2. % del (N°) que se transforman en reproductivos.

$$1 \times 2 = \text{Potencial fenológico}$$

3. Número de flores por nudo reproductivo (F) } Número de frutos por
4. % de F que se transforma en frutos } nudo reproductivo (P)

5. % de P que son retenidos

6. Número de semillas por fruto (S)

$$3 \times 4 \times 5 \times 6 = \text{Eficiencia reproductiva}$$

7. % de S que alcanzan la madurez \longrightarrow { Suministro de carbono
Suministro de nitrógeno

8. Peso promedio por semilla \longrightarrow Tasa promedio de crecimiento de semilla
X Duración del llenado de semilla

$$7 \times 8 = \text{Culminación del rendimiento}$$

$$\text{Rendimiento por planta:} = (1 \times 2) \times (3 \times 4 \times 5 \times 6) \times (7 \times 8)$$

midón en la hoja, el cual hace disminuir la tasa de la fotosíntesis aparente al dificultar el transporte intracelular del CO_2 (56-60-80). La tasa fotosintética aumenta por una mayor actividad de la enzima 1-5, Ru DP Carboxilasa (9-8-84).

Existen también diferencias en las tasas de fotorespiración (4-17-20). Entre un 30% y un 50% de la disminución de la fotosíntesis se debe a este proceso, el resto se debe a una inhibición directa de la fotosíntesis por el O_2 (17-67). La fotorespiración aumenta con el incremento de la fotosíntesis aparente y en los cultivares con alta fotorespiración, ésta consume una mayor proporción de la fotosíntesis (4).

Tasas fotosintéticas altas se encuentran asociadas con un mayor peso foliar específico (50-44-57). Aunque éste también puede variar con la edad y la posición de la hoja en la planta (4-50-51). Con todo, aún resulta difícil establecer el parámetro a evaluar para lograr, por selección, incrementos en la tasa fotosintética.

b) Canopeo

La tasa fotosintética del canopeo guarda relación con el índice de área foliar. Luego de un período de crecimiento inicial lento, el índice de área foliar aumenta rápidamente hasta el comienzo del llenado de los granos. En esta época alcanza valores entre 4 y 8, luego del cual declina por la abscisión de las hojas inferiores (52).

La saturación de la fotosíntesis a campo (1,21 ly/min.) ocurre con índice de área foliar inferior a 4. Con radiación relativamente baja (0,2 ly/min.) el índice de área foliar crítico se encuentra entre 5 y 6 (46). Con un índice de área foliar mayor, una alta radiación provoca el incremento de la fotosíntesis del canopeo, debido a un aumento de la actividad fotosintética de las hojas inferiores (50).

La luz adicional (12-46-50-66) y la elevación de la concentración del CO_2 del aire (12-15-24-35-59) aumentan la actividad fotosintética. Ambos tratamientos incrementan la producción de materia seca y generalmente también el rendimiento.

La asimilación del CO_2 por el canopeo de un cultivo de soja que recibe elevada radiación, es del orden de 60 mg CO_2 dm^{-2} (de suelo) h^{-1} (24-46).

La mayoría de los cultivares de soja presentan una conformación cerrada del canopeo. Se ha propuesto mejorar ese aspecto introduciendo tipos de hojas angostas y erguidas. Sin embargo, los resultados obtenidos utilizando isolíneas con esta características no produjeron ventajas (24-50).

Nutrición mineral

La planta de soja absorbe relativamente baja cantidad de nutrientes, durante los primeros 30 días desde la emergencia. Luego la absorción aumenta considerablemente, alcanzando la máxima tasa entre plena floración y la época en que las semillas están completando el llenado (34-37-40).

Las curvas de acumulación de nutrientes en la planta, a través del tiempo, presentan gran similitud con la de acumulación de materia seca. (34-40). Aproximadamente el 79% de la acumulación total de estos elementos se produce en dicho período en los cultivares indeterminados (34). La concentración de los nutrientes en los tejidos varía entre las diferentes partes de la planta, estado de desarrollo y niveles existentes en el suelo; pero en general, son similares entre cultivares del mismo tipo de crecimiento. Las concentraciones de nutrientes normalmente disminuyen con la edad en cualquier parte de la planta, excepto en las semillas (33-

37-40). La fertilización incrementa el contenido del elemento agregado en todas las partes de la planta (5-6-10-33-73-76).

El análisis de la acumulación estacional de los nutrientes, permite deducir que las partes vegetativas actúan como reservorio de nutrientes minerales, los que son trasladados a las semillas durante el período de llenado. Alrededor de 50% a 60% del N, P y K de las semillas, proviene de esta fuente, mientras que el resto es tomado del suelo o de la fijación simbiótica (23-34).

Al aumentar el número de frutos por planta, el contenido de nutrientes minerales de tallos y hojas disminuye con respecto al de plantas sin frutos (53).

La planta de soja obtiene el nitrógeno por absorción desde el suelo, de la fertilización, o del nitrógeno atmosférico fijado en los módulos (N_2). Si bien puede crecer en forma adecuada con el nitrógeno proveniente de la simbiosis, el máximo crecimiento de la planta y el máximo rendimiento, requieren además el N del suelo (6-11-61). El rendimiento en semillas de plantas totalmente dependientes del N_2 atmosférico, suele representar menos del 50% del rendimiento de plantas que utilizan nitrógeno nítrico y atmosférico. Plantas que crecen en niveles relativamente bajos de NO_3^- , muestran tasas de fijación simbiótica más alta que cuando crecen sin NO_3^- , o con altos niveles de NO_3^- (6-38).

El nitrógeno del suelo inhibe la nodulación y la fijación del N_2 . La fijación del N_2 es más fuertemente inhibida por NO_3^- que por NH_4^+ (54). Concentraciones de NO_3^- tan bajas como 2m M en cultivo hidropónico, inhiben la modulación, mientras que concentraciones de urea de 18m M permiten la formación de nódulos capaces de fijar N_2 (81).

Tasas de fertilización del orden de 224 kg de N/ha o superiores, anulan prácticamente la fijación simbiótica y

permiten lograr los máximos rendimientos, tanto en líneas nodulantes como en líneas no nodulantes (6).

La máxima utilización de NO_3^- por la planta, se produce en el estado de plena floración; mientras que la fijación simbiótica, presenta su máxima tasa durante el llenado de las semillas (38-54), aunque otros autores encuentran que ésta se produce al final de la floración, declinando marcadamente durante el estado temprano del llenado de las semillas (55).

La declinación de la fijación simbiótica coincide con el crecimiento de los frutos, que constituyen destinos importantes de nutrientes y carbohidratos. De esta manera, disminuye la disponibilidad de fotosintatos para los nódulos. Al suministrar luz adicional o eliminar los frutos, se prolonga la actividad de los nódulos (55). El incremento de la fotosíntesis por enriquecimiento de la atmósfera de la planta con CO_2 , aumenta la fijación simbiótica (36). Por el contrario, el sombreado de las plantas (55-83) o la defoliación (55), disminuye la actividad de los nódulos y acorta su período funcional.

Al analizarse el traslado de ^{14}C incorporado fotosintéticamente, se comprueba una significativa movilización de fotosintatos hacia los frutos, trasladándose muy poco a los nódulos (44-54).

La duración del período de llenado de las semillas es un determinante importante del rendimiento (18-21).

Las hojas y pecíolos de la soja envejecen y caen gradualmente desde el comienzo de la fructificación (23-32-52).

Una hipótesis sostiene que la soja, por el alto contenido de proteína y grasa en sus semillas, tiene altos requerimientos de N. Este debe ser trasladado desde los tejidos vegetativos de la planta a las semillas.

La pérdida de nitrógeno de los tejidos vegetativos, que está ligada por otra

parte a la tasa de absorción por las raíces y nódulos, conduce a la pérdida de la actividad fisiológica y al posterior envejecimiento de la hoja, proponiéndose que la soja es "autodestructiva" (71-70).

Considerando que el agotamiento de los nutrientes en las hojas, reduce la tasa fotosintética durante el período de llenado de las semillas, debido a una pobre absorción desde el suelo, se ensayó la fertilización foliar durante este período. Se encontró que la aplicación foliar de una solución con una proporción de N P K S igual a 10: 1: 3: 0,5 similar a la encontrada en las semillas, produjo incrementos significativos del rendimiento en cultivares indeterminados. El incremento se debió principalmente al aumento del número de semillas cosechables, que normalmente están formadas pero que no alcanzan a llenarse y por consiguiente abortan (26).

Cuando se trató de comprobar este resultado en un cultivar determinado, la aplicación foliar de N P K S incrementó el contenido de estos elementos en las hojas, pero no afectó el rendimiento (7-65), no modificó la duración del período de actividad fotosintética, ni retrasó la maduración. La concentración de N y P en las hojas disminuyó progresivamente durante el período de llenado de la semilla hasta la madurez y estuvo positivamente correlacionado con la fotosíntesis (65).

Lo expuesto constituye una revisión parcial de algunos aspectos del rendimiento de la soja. La "barrera del rendimiento" existe y se multiplican los intentos por superarla. El desafío aún subsiste.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 1) Ashloy, D. A. y W. J. Ethridge. 1978. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. *Agron. J.* 70: 467-471.
- 2) Bernard, R. L. 1972. Two genes affecting stem termination in soybeans. *Crop. Sci.* 12: 255-239.
- 3) Beuerlein, J. E. y J. W. Pendleton. 1971. Photosynthetic rates and light saturation curves of individual soybean leaves under field conditions. *Crop. Sci.* 11: 217-219.
- 4) Bhagsari, A. S., D. A. Ashley, R. H. Brown y H. R. Boerma. 1977. Leaf photosynthetic characteristics of determinate soybean cultivars. *Cop. Sci.* 17: 929-932.
- 5) Bhangoo, M. S. y Albritton. 1972. Effect of fertilizer Nitrogen, Phosphorus, and Potassium on yield and nutrient content of Lee soybeans. *Agron. J.* 64: 743-747.
- 6) Bhangoo, M. S. y D. J. Albritton. 1976. Nodulating and nonnodulating Lee soybean isolines response to applied nitrogen. *Agron. J.* 68: 642-645.
- 7) Boote, K. J., R. N. Gallager, W. K. Robertson, K. Hinson y L. C. Hammond. 1978. Effect of foliar fertilization on Photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 787-791.
- 8) Borthwick, H. A. y M. W. Parker. 1939. Photoperiodic responses of several varieties of soybeans. *Bot. Gaz.* 101: 341-365.
- 9) Bowes, G., W. L. Ogre y R. H. Hageman. 1972. Light saturation, photosynthesis rate, Ru.DP carboxylase activity and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop. Sci.* 12: 77-79.
- 10) Bredvan, R. E., D. B. Egli y J. E. Legget. 1977. Influence of N nutrition on total N, nitrate, and carbohydrate levels in soybeans. *Agron. J.* 69: 965-969.
- 11) 1978. Influence of N nutrition on

- flower and pod abortion and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 81-84.
- 12) Brun, W. y R. L. Cooper. 1967. Effects of light intensity and carbon dioxide concentration on photosynthetic rate of soybean. *Crop. Sci.* 7: 451-454.
 - 13) Carlson, J. B. 1973. Morphology. p. 17-66. In Caldwell, B. E. (ed) Soybeans: Improvement, production, and uses. Am. Soc. Agronomy. Madison. Wisconsin. U.S.A.
 - 14) Cooper, R. L. 1971. Influence of early lodging on yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). *Agron. J.* 63: 449-450.
 - 15) Cooper, R. L. y W. A. Brun. 1967. Response of soybeans to carbon dioxide - enriched atmosphere. *Crop. Sci.* 7: 455-457.
 - 16) Criswell, J. G. y D. J. Hume. 1972. Variation in sensitivity to photoperiod among early maturing soybean strains. *Crop. Sci.* 9: 657-660.
 - 17) Curtis, P. E., W. L. Ogren y R. H. Hegeman. 1969. Varietal effects in soybean photosynthesis and photorespiration. *Crop. Sci.* 9: 323-326.
 - 18) Daynard, T. B., J. W. Tenner y W. G. Duncan. 1971. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn, *Zea mays* L. *Crop. Sci.* 11: 45-48.
 - 19) Domínguez, C. y D. J. Hume. 1978. Flowering, abortion, and yield of early-maturing soybeans at three densities.
 - 20) Dornhoff, G. M. y R. M. Shibles. 1970. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop. Sci.* 10: 42-45.
 - 21) Egli, D. B. y J. E. Leggett. 1973. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. *Crop. Sci.* 13: 220-374.
 - 22) 1976. Rate of dry matter accumulation in soybean seeds with varying source-sink ratios. *Agron. J.* 68: 371-374.
 - 23) y W. G. Duncan. 1978. Influence of N stress on leaf senescence and N distribution in soybeans. *Agron. J.* 70: 43-47.
 - 24) J. W. Pendleton y D. B. Peters. 1970. Photosynthetic rate of three soybean communities as related to carbon dioxide levels and solar radiation. *Agron. J.* 62: 411-414.
 - 25) Fehr, W. R., C. E. Caviness y J. J. Vorst. 1977. Response of indeterminate and determinate soybean cultivars to defoliation and half-plant cut-off. *Crop. Sci.* 17: 913-917.
 - 26) García, R. L. y J. J. Hanway. 1976. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. *Agron. J.* 68: 653-657.
 - 27) Garner, W. W. y H. A. Allard. 1930. Photoperiodic responses of soybeans in relation to temperature and other environmental factors. *J. Agr. Res.* 41: 719-735.
 - 28) Green, D.E., P. F. Burlamaqui y R. Shibles. 1977. Performance of randomly selected soybean lines which semideterminate and indeterminate growth habits. *Crop. Sci.* 17: 335-339.
 - 29) Hammer, K. C. 1969. *Glycine max* (L) Merrill. p. 62-89. In Evans, L. T. (ed) The induction or flowering. Cornell Univ. Press. Nueva York. U.S.A.
 - 30) Hansen, W. R. y R. Shibles. 1978. Seasonal log of the flowering and podding activity of field-grown soybean
 - 31) Hanway, J. J. y C. B. Weber. 1971. Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max* (L) Merrill) varieties. *Agron. J.* 63: 227-230.
 - 32) 1971. Dry matter accumulation in

- soybean (*Glycine max* (L) Merrill) plants as influenced by N, P, and K fertilization. *Agron. J.* 63: 263-266.
- 33) 1971. N, P, and K percentages in soybean (*Glycine max* (L) Merrill) plant parts. *Agron. J.* 63: 286-290.
- 34) 1971. Accumulation of N, P, and K by soybean (*Glycine mx* (L) Merrill) plants. *Agron. J.* 66: 406-408.
- 35) Hardman, L. L. y W. A. Brun. 1971. Effect of atmospheric carbon dioxide enrichment at different developmental stages on growth and yield components of soybeans. *Crop. Sci.* 11: 886-888.
- 36) Hardy, R. W. F. y V. D. Havelka. 1973. Symbiotic N₂ fixation: multi-fold enhancement by CO₂-enrichment of field-grown soybeans. *Plant Physiol. Suppl.* 51:35.
- 37) Harper, J. E. 1971. Seasonal nutrient uptake and accumulation patterns in soybeans. *Crop. Sci.* 11: 347-351.
- 38) Harper, J. E. 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop. Sci.* 14: 255-260.
- 39) Hartwig, E. E. 1973. Varietal development. p. 187-237. In Caldwell, B. E. (ed) *Soybeans: Improvement, production, and uses.* Am. Soc. Agron. Madison. Wi. U.S.A.
- 40) Henderson, J. B. y E. J. Kamprath. 1970. Nutrient and dry matter accumulation by soybeans. *North Carol. Agr. Exp. Sta. Tech Bull* N° 197.
- 41) Hicks, D. R. y J. W. Pendleton. 1969. Effect of floral bud removal on performance of soybeans. *Crop. Sci.* 9: 435-437.
- 42) R. L. Bernard y T. J. Johnston. 1969. Response of soybean plant types to planting patterns. *Agron. J.* 61: 290-293.
- 43) Hoggard, A. L., J. S. Shannon y D. Jonhson. 1978. Effect of plant population on yield and height characteristics in determinate soybeans. *Agr. J.* 70: 1070-1072.
- 44) Hume, D. J. y J. G. Criswell. 1973. Distribution and utilization of ¹⁴C-labelled assimilates in soybeans. *Crop Sci.* 13: 519-524.
- 45) Instituto Nac. Est. y Censos (Argentina). *Boletín Estad. Trim.*
- 46) Jeffers, D. L. y R. M. Shibles. 1969. Some effects of leaf area, solar radiation, air temperature, and variety on net photosynthesis in field growth soybeans. *Crop. Sci.* 9: 762-764.
- 47) Johnson, H. W., H. A. Borthwick y R. C. Laffel. 1960. Effects of photoperiod and time of planting on rates of development of the soybean in various stages of the life cycle. *Bot. Gaz.* 122: 77-95.
- 48) Johnson, B. J. y H. B. Harris. 1967. Influence of plant population on yield and other characteristics of soybeans. *Agron. J.* 59: 447-449.
- 49) Johnston, T. J., J. W. Pendleton, D. R. Hicks. 1969. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield, and yield components of soybeans (*Glycine max* (L)). *Crop. Sci.* 9: 477-581.
- 50) Kaplan, S. L. y H. R. Koller. 1977. Leaf area and CO₂-exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean canopy. *Crop. Sci.* 17: 35-38.
- 51) Koller, H. R. 1972. Leaf area-leaf weight relationships in the soybean canopy. *Crop. Sci.* 12: 180-183.
- 52) Koller, H. R., W. E. Nyquist y I. S. Chorush. 1970. Growth analysis of the soybean community. *Crop. Sci.* 10: 407-412.
- 53) Kollman, G. E., J. G. Strester, D.L. Jeffers y R. B. Curry. 1974. Accumulation and distribution of mineral nu-

- trients, carbohydrate, and dry matter in soybean plants as influenced by reproductive sink size. *Agron. J.* 66: 549-554.
- 54) Latimore, Jr. M. L. Giddens y D. A. Ashley. 1977. Effect of ammonium and nitrate nitrogen upon photosynthate supply and nitrogen fixation by soybeans. *Crop. Sci.* 17: 399-404.
- 55) Lawn, R. J. y W. A. Brun. 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I Effects of photosynthate source-sink manipulations. *Crop. Sci.* 14: 11-17.
- 56) Lenz, F. y G. N. Williams. 1973. Effect of fruit removal on net assimilation and gaseous diffusive resistance of soybean leaves. *Angew Botanik* 47: 57-63.
- 57) Mann, J. D. y Jaworski. 1970. Comparison of stresses which may limit soybean yield. *Crop. Sci.* 10: 620-624.
- 58) Martignone, R. A. y F. Nakayama. 1977. Modalidad del crecimiento vegetativo y evolución del número de órganos reproductivos de dos cultivares de soja. *V. Reun. Técn. Nac. de Soja. Miramar*, marzo 1977.
- 59) Mauney, J. R., K.E. Fry y G. Guin. 1978. Relationship of photosynthetic rate to growth and fruiting of cotton, soybean, sorghum, and sunflower. *Crop. Sci.* 18: 259-263.
- 60) Nafziger, E. D. y H. R. Koller. 1976. Influence of leaf starch concentration on CO₂ assimilation in soybean. *Plant Physiol.* 57: 560-563.
- 61) Norman, A. G. y L.O. Krampitz. 1945. The nitrogen nutrition of soybeans: II Effect of available soil nitrogen on growth and nitrogen fixation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 10: 191-196.
- 62) Panday, J. P. y J. H. Torrie. 1973. Path coefficient analysis of seed yield components in soybeans (*Glycine max* (L) Merr.). *Crop. Sci.* 13: 505-507.
- 63) Patterson, D. T., M. M. Peet y J. A. Bunce. 1977. Effect of photoperiod and size at flowering on vegetative growth and seed yield of soybean. *Agron. J.* 69: 631-635.
- 64) Raper, C. D. y J. F. Thomas. 1978. Photoperiodic alternation of dry matter partitioning and seed yield in soybeans. *Crop. Sci.* 18: 654-656.
- 65) Robertson, W. K., K. Hinson y L. C. Hammond. 1977. Foliar fertilization of soybeans (*Glycine max* (L) Merr.) in Florida. *Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 36: 77-79.
- 66) Schou, J. B., D. L. Jeffers y J. G. Streeter. 1978. Effect of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. *Crop. Sci.* 18: 29-34.
- 67) Sevaites, J. C. 1978. Oxygen inhibition of photosynthesis and stimulation of photorespiration in soybean leaf cells. *Plant Physiol.* 61: 62-67.
- 68) Shanmugasundaram, S. y C. S. Tsou. 1978. Photoperiod and critical duration for flower induction in soybean. *Crop. Sci.* 18: 598-601.
- 69) Shibles, R., I. C. Anderson y A. H. Gibson. 1975. Soybean. p. 151-189. In Evans, L. T. (ed) *Crop. Physiology*. Cambridge Univ. Press. Nueva York.
- 70) Sinclair, T. R. y C. T. de Wit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirement for seed production by various crops. *Science* 189: 565-567.
- 71) Sinclair, T. R. y C. T. de Wit. 1976. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agron. J.* 68: 319-324.
- 72) Sionit, N. y P. J. Kramer. 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agr. J.* 69: 274-278.

- 73) Streeter, J. G. 1978. Effect of N starvation of soybean plant at various stages of growth on seed yield and N concentration of plant parts at maturity. *Agron. J.* 70: 74-76.
- 74) Summerfield, R. J. y F. R. Minohin. 1976. An integrated strategy for day-length and temperature-sensitive acreeening of potentially tropic-adapted soybeans. p. 186-191. In *Expanding the use of soybeans*. Intsoy. Series number 10. 111.
- 75) Summerfield, R. J., F. R. Winchin y E. H. Roberts. 1978. Realization of yield potential in soybean (*Glycine max* (L) Merr.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Wlp.). *Proc. BCPC/BPGRG Symp. Opportunities for Chem. Pl. Growth. Reg.* p. 125-134.
- 76) Terman, G. L. 1977. Yields and nutrient accumulation by determinate soybeans, as affected by applied nutrients. *Agron. J.* 69: 234-238.
- 77) Thomas, J. F. y C. D. Raper. 1977. Photoperiodic control of seed filling for soybeans. *Crop. Sci.* 16: 667-672.
- 78) Thomas, J. F. y C. D. Raper. 1977. Morphological response of soybeans as governed by photoperiod, temperature, and age at treatment. *Bot. Gaz.* 138: 321-328.
- 79) Thomas, J. F. y C. D. Raper. 1978. Effect of day and night temperatures during floral induction on morphology of soybeans. *Agron. J.* 70: 893-898.
- 80) Thorne, J.H. y H. R. Koller. 1974. Influence of assimilate demand on photosynthesis, diffusive resistences, translocation and carbohydrate levels of soybean leaves. *Plant Physiol.* 54: 201-201.
- 81) Vigue, J. T., J. E. Harper, R. H. Hageman y D. B. Peters. 1977. Nodulation of soybeans grown hydroponically on urea. *Crop. Sci.* 17: 169-172.
- 82) van Schaik, P. H. y A. H. Probst. 1958. Effects of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. *Agron. J.* 50: 192-197.
- 83) Wahua, T. A. T. y D. A. Miller, 1978. Effects of shading on the N_2 - fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. *Agron. J.* 70: 387-392.
- 84) Wareing, P. F. y M. M. Khalifa. 1968. Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. *Nature.* 220: 453-457.
- 85) Weber, C. R. R. M. Shibles y D. E. Byth. 1966. Effects of plant population and row spacing on soybean development and production. *Agron. J.* 58: 99-102.
- 86) Wilcox, J. R. 1974. Response of three soybean strains to equidistant spacing. *Agron. J.* 66: 409-412.