



ECOFISIOLOGÍA DE LA SOYA

ECOFISIOLOGÍA DE LA SOYA

*Ciro A. Rosolem
Departamento de Producción Vegetal
FCA/UNESP, BOTUCATU.*



Para obtener una alta productividad se hace necesario el empleo de técnicas adecuadas en el momento exacto. En el cultivo de la soya, el momento exacto es definido, más que por la edad cronológica de la misma, por el estado fisiológico de la planta. Así, para el buen manejo del cultivo, es fundamental el conocimiento de cómo la planta se desarrolla y reacciona a las variaciones climáticas.

A pesar de todo ello será difícil establecer, exactamente, dónde se inician las épocas del crecimiento, ya que la diferenciación de las flores ocurre durante el periodo vegetativo. Se busca, en lo posible, dividir el ciclo de la planta en diferentes fases en las que habrá respuestas estimuladas o disminuidas por los elementos del ambiente. En el presente capítulo será discutido el efecto de los factores climáticos del ambiente sobre el crecimiento de la soya; considerando los diversos estadios de crecimiento de las plantas: germinación y emergencia, crecimiento vegetativo, florecimiento, llenado de los granos y maduración.

GERMINACIÓN Y EMERGENCIA

En la soya, la germinación y la emergencia deben ser rápidas, en condiciones normales. El proceso se inicia cuando la semilla alcanza una humedad oscilante entre el 40% y el 50%. La radícula es la primera parte que rompe el tegumento y sale, uno o dos días después de la siembra. La radícula se desarrolla de manera tal que durante los cuatro o cinco primeros días, después de la siembra, deben surgir las primeras ramificaciones de la raíz y los pelos radiculares.

Como continuación al surgimiento de la radícula, se inicia el desarrollo del hipocótilo, éste irá formando un gancho y conduciendo a los cotiledones hasta la superficie del suelo, para caracterizar una emergencia epigea, luego, sobre el nivel del suelo, los cotiledones se tornan verdes, se inicia la fotosíntesis, y los primeros toman el nombre de hojas cotiledonares, a continuación aparece el primer par de hojas verdaderas, opuestas, para completarse luego todo el proceso con la salida de los trifolios.

El proceso, hasta el final de la emergencia, no debe extenderse más de cinco o siete días. De acuerdo con la escuela de Fehr y Caviness (1977) es en este periodo que se encuentran los estadios VE (cotiledones arriba del suelo) y VC (los cotiledones se presentan completamente abiertos y los bordes de las hojas opuestas no se tocan).

EL AGUA

Independientemente de que el consumo del agua sea bajo en esta fase: 2,2 mm por día (Tabla 1), la germinación y la emergencia son situaciones muy críticas en cuanto a la humedad del suelo. Comparada con otros cultivos, la soya puede ser considerada bastante sensible al estrés hídrico en esta fase. Mientras que, por ejemplo, el maíz y el arroz inician su germinación cuando la humedad de la semilla es de 30%, en la soya sólo se inicia el proceso germinativo cuando la semilla contiene el 50% de humedad.

Cabe destacar que las semillas de maíz son humedecidas cuando el suelo contiene una humedad mayor a -12,5 bars, mientras que, para alcanzar esta misma situación en las semillas de soya, es necesario que la humedad del suelo sea mayor a -6,6 bars, es decir, el suelo tendrá que ser mucho más húmedo (Meder-ski et al, 1973). La velocidad de la emergencia está influenciada por la calidad fisiológica de las semillas, de modo que lotes más vigorosos vencerán, con mayor facilidad, el estrés impuesto por una eventual falta de humedad o también por temperaturas fuera de las acostumbradas.

Subperíodos	Evaporación diaria (mm)
Siembra - Emergencia	2,2
Emergencia - Inicio de floración	5,1
Inicio de floración - Aparición de la vaina	7,4
Aparición de la vaina - 50% de hojas amarillas	6,6
50% de hojas amarillas - Maduración	3,7

Tabla 1.- Exigencia hídrica de la soya en función al estadio de desarrollo de la planta

TEMPERATURA

La germinación y la emergencia de la soya son afectadas, no sólo por la humedad sino también por la temperatura. Investigaciones de importancia

(Rosolem et al, 1991) demostraron que la germinación resultó bastante afectada mientras la temperatura media sobrepasó los 25°C (Figura 1). Cuando la temperatura alcanzó los 40°C, simplemente no hubo germinación. En algunas regiones, esto puede ser muy importante, pues la temperatura del suelo, a profundidades de 5,0 cm, muchas veces sobrepasa los 50°C, dependiendo del lugar, color y tipo de manejo del suelo. Igualmente, aunque suceda la germinación, el próximo paso para que haya emergencia de la planta es el crecimiento del hipocótilo, que a la vez es también afectado por la temperatura.

Considerando una profundidad de siembra de 5,0 cm y una temperatura media de 25°C, la emergencia ocurrirá en menos de cuatro días, pero ante una temperatura media de 30°C, tardaría cinco días (Figura 2). Se destaca que en la medida en que la temperatura descienda, la emergencia demorará más, llegando a completarse hasta en nueve días, a 15°C (Rosolem et al, 1991). La demora de la emergencia significa también una mayor exposición a las plagas y enfermedades del suelo. Además de eso, los efectos del estrés varían: las semillas con menor vigor son más susceptibles que las semillas vigorosas, se producirán deformaciones en el cultivo, y por tanto, problemas en el manejo. Para evitar este tipo de problemas, es fundamental sembrar la soya en la época correcta, buscar la mejor combinación entre humedad y temperatura, utilizar semillas de alta calidad y mantener la uniformidad en la profundidad de la siembra.

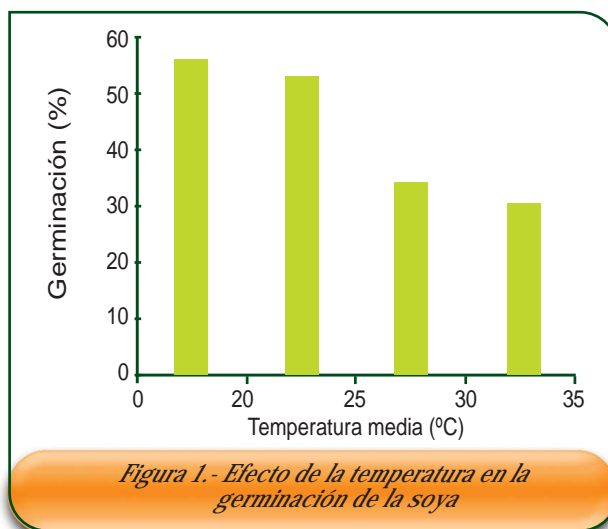


Figura 1.- Efecto de la temperatura en la germinación de la soya

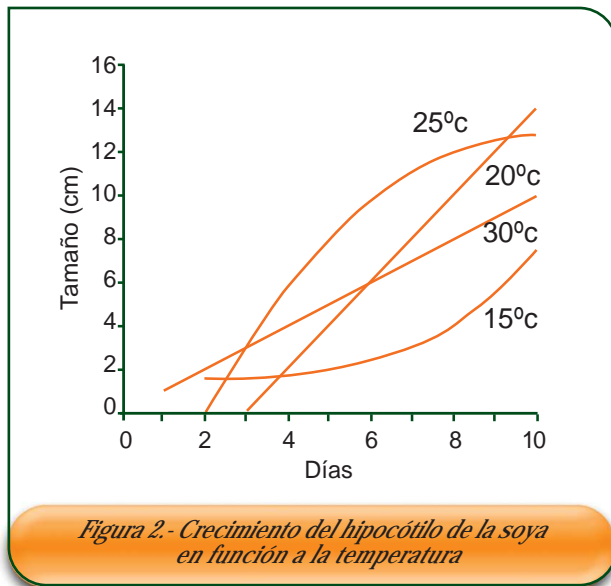


Figura 2.- Crecimiento del hipocótilo de la soya en función a la temperatura

LUZ

Se puede decir que, en la fase de germinación y emergencia, no se han reportado efectos notables de la luz sobre el cultivo de la soya.

CRECIMIENTO VEGETATIVO

La salida de la plántula da inicio al crecimiento vegetativo. Esta fase se caracteriza por los estadios V (Fehr y Caviness, 1977): desde V1 -las hojas unifoliadas se encuentran extendidas y la primera hoja trifoliada está suficientemente abierta, de modo que los bordes de los trifolios no se tocan-, hasta Vn -la enésima hoja se encuentra extendida y el trifolio n+1 suficientemente abierto, de modo que sus bordes no se tocan-. El número de hojas y nudos desarrollados van a depender del cultivo y su hábito de crecimiento. En esta fase ocurre la mayor parte del crecimiento radicular, a pesar de que crecimiento se mantiene, prácticamente, hasta el final del ciclo del cultivo.

El crecimiento de las raíces de la soya es bastante vigoroso, puede llegar a un pico de aproximadamente 5,0 cm/día⁻¹, alrededor del estadio R3, y puede decaer enseguida hasta 1,0 cm/día⁻¹, alrededor de R6, sin limitaciones de orden físico o químico ya que el sistema radicular puede alcanzar más de 2,0 m de profundidad. Cuando mostramos el perfil de las raíces de la soya, en condición de campo (Figura 3),

es posible notar que, a pesar de la concentración de raíces en los horizontes más superficiales, hay crecimiento en las profundidades por lo menos hasta los 102 días que es cuando la planta consigue explorar la mayor profundidad del suelo. No sólo se tiene la mayor exploración del suelo en profundidades, sino también que los espacios entre las líneas de la soya van siendo relativamente ocupados por el sistema radicular a medida que avanza el ciclo, de modo que se logra, en el crecimiento máximo del cultivo, tantas raíces en las entre líneas como en la línea del cultivo. El crecimiento vegetativo es cerrado más adelante con la aparición de las primeras flores, en cultivos de crecimiento determinado, y poco después en cultivos de crecimiento indeterminado.

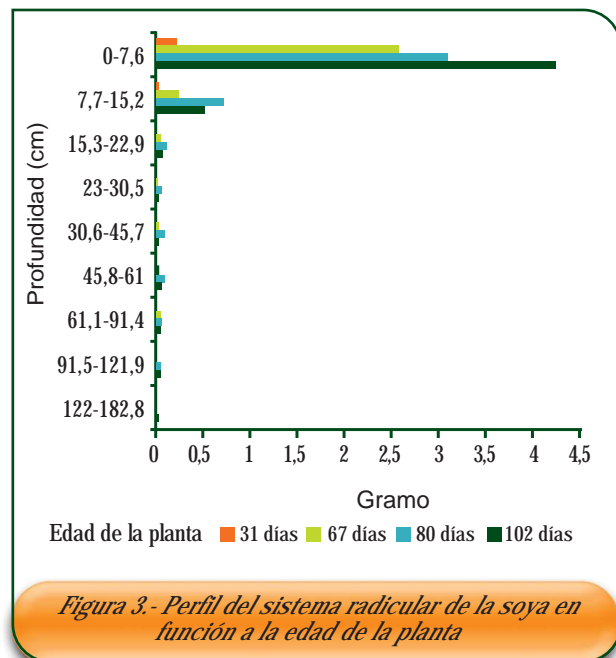


Figura 3.- Perfil del sistema radicular de la soya en función a la edad de la planta

EL AGUA

La soya no está considerada entre las plantas más sensibles a la falta de agua, pero en determinados años el estrés hídrico, por falta o por exceso de agua, puede perjudicar la productividad. Este efecto se hará más notable en suelos con cierto nivel de compactación o en los que tengan aluminio en profundidades, perjudicando el crecimiento radicular y maximizando el estrés. El consumo estimado de agua (Cuadro 1) puede observarse en cada fase del cultivo, la exigencia aumenta con el desarrollo de este último, hasta el florecimiento.



Desde el inicio del crecimiento vegetativo, la exigencia de agua aumenta significativamente, a la par del desarrollo del área foliar. En perfil de exploración del agua en el suelo (Figura 4), en el caso de la soya es mostrado bajo dos situaciones: con y sin irrigación. Antes de la exposición de los tratamientos, y en condiciones normales, la mayor exploración de la humedad del suelo ocurre hasta los 30 cm de profundidad, a pesar de que haya exploración hasta más de 1,5 m. Dos semanas después a la determinación de los tratamientos con y sin irrigación, la situación es totalmente diferente. En el tratamiento irrigado, continúa una gran exploración de los primeros 30 centímetros, pero el límite se mueve para 60 centímetros; debajo de 1,20 m, y no tiene modificación en lo referente a la situación inicial. Contrariamente, sin la irrigación, el uso del agua del suelo superficial es limitado, pues esta camada es muy seca. La planta depende del agua que está bajo 1 m, para continuar creciendo.

Tanto la compactación subsuperficial como el exceso de aluminio o la deficiencia de calcio limitarán el crecimiento radicular de la planta, en profundidades, causando concentración de raíces en las capas más superficiales, esto es conocido como efecto florero. En este caso no sólo se ve perjudicado el crecimiento radicular en la capa compactada sino también el de la capa que se encuentra bajo la compactada. De existir condiciones ideales de abastecimiento del agua, puede evitarse grandes pérdidas en la productividad, pues la planta obtiene los recursos necesarios para su crecimiento de la capa más superficial que es más fértil. Sin embargo, en esta situación, durante veranos muy cortos, el suelo

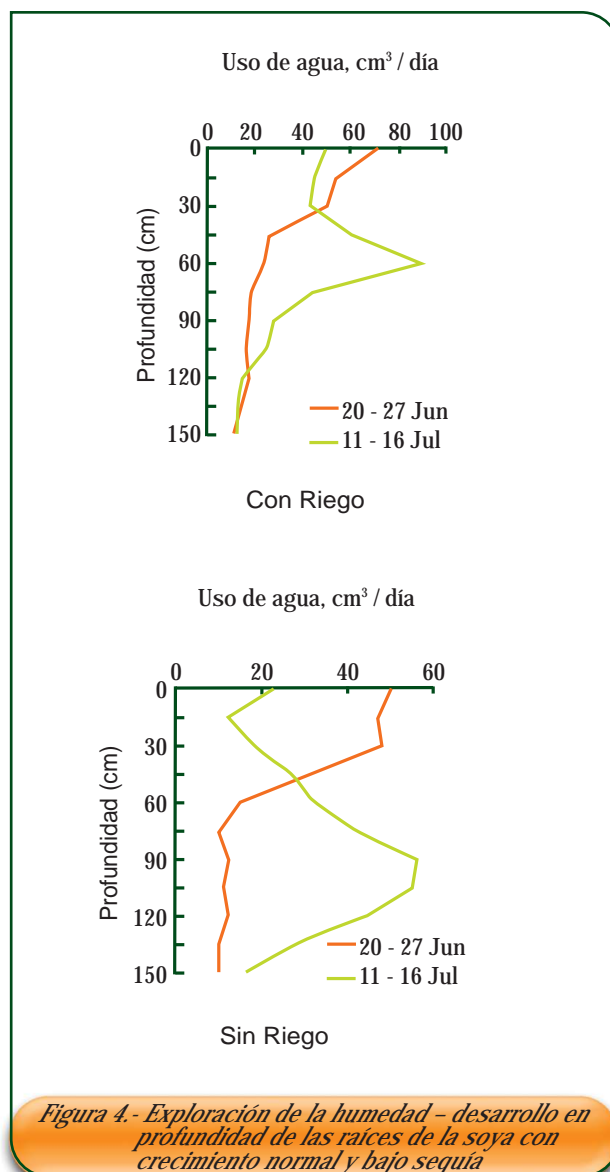


Figura 4.- Exploración de la humedad - desarrollo en profundidad de las raíces de la soya con crecimiento normal y bajo sequía

demasiado explotado por las raíces en la superficie, se secará pronto. En caso de lluvia esta capa será encharcada rápidamente, por lo tanto el agua no se infiltrará en el suelo como debiera. Tanto la sequía como el encharcamiento moderado, durante el crecimiento vegetativo, no provocarán gran perjuicio en la productividad. Sin embargo, durante el período reproductivo, el perjuicio será considerable, tanto en el caso de sequía como en el caso de encharcamiento. Varios trabajos demuestran que la productividad de la soja alcanza su punto máximo si el sistema radicular se encuentra hasta 1,3 m de profundidad (Figura 5), según una adaptación (Sadras y Calvino, 2001). Cuando se da la ocurrencia de lluvias fuertes, o de varios días lluviosos, puede ocurrir un encharcamiento temporal, hasta en suelos relativamente drenados, principalmente si hay alguna compactación superficial.

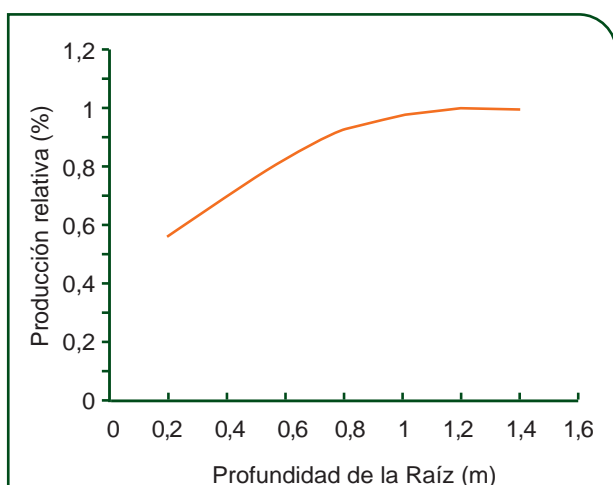


Figura 5.- Relación entre la producción relativa de la soja y la profundidad del sistema radicular, considerando la capacidad de absorción de agua por la planta (Sadras y Calvin, 2001)

Los síntomas de encharcamiento en el cultivo de la soja son: menor permeabilidad de las raíces, que resulta en menor absorción de nutrientes, epinastia, clorosis y abscisión foliar, menor crecimiento, hipertrofia del tallo; crecimiento de raíces adventicias, formación de parénquima con muerte de raíces, mayor susceptibilidad a plagas y a enfermedades y, eventualmente, poca producción. Cuando el encharcamiento ocurre durante el período vegetativo (Figura 6), no se ha observado efecto significativo en la productividad del cultivo (Pires

et al, 2002). Aunque no llegue a dañar la productividad, el encharcamiento del suelo, durante el período vegetativo de la soja, causa un amarillamiento del cultivo, que en algunos días, se recupera (Figura 7).

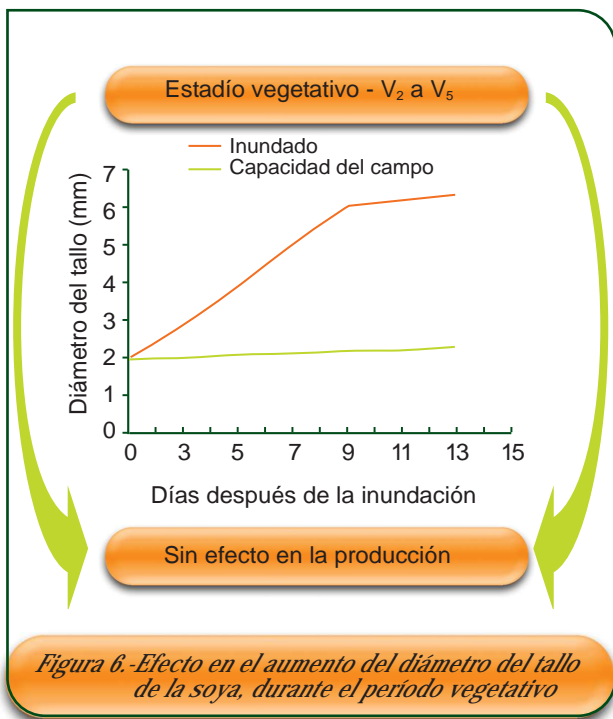


Figura 6.- Efecto en el aumento del diámetro del tallo de la soja, durante el período vegetativo

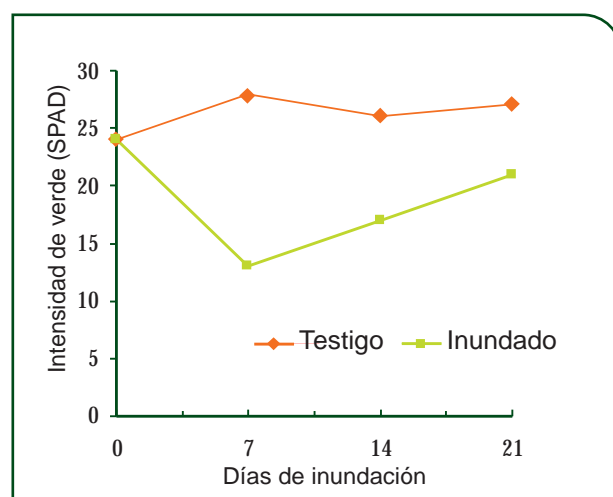
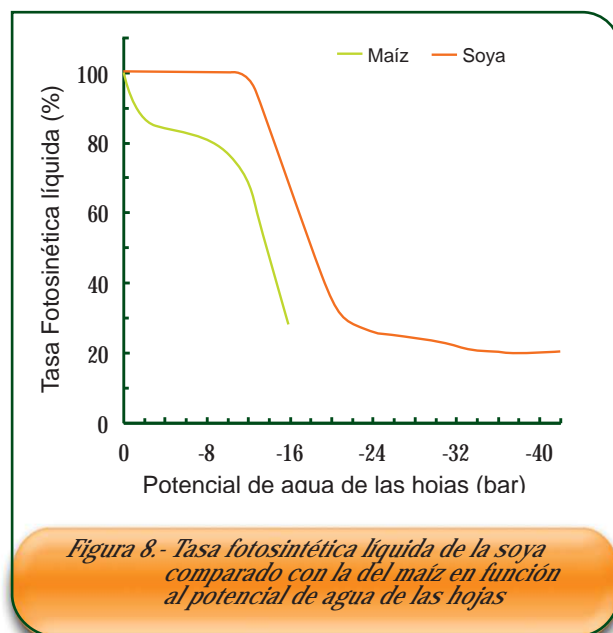


Figura 7.- Intensidad de tonalidad verde (SPAD) en las hojas de soja, en función del tiempo sobre encharcamiento. Adaptada de Bacanamwo y purcell, (1999)

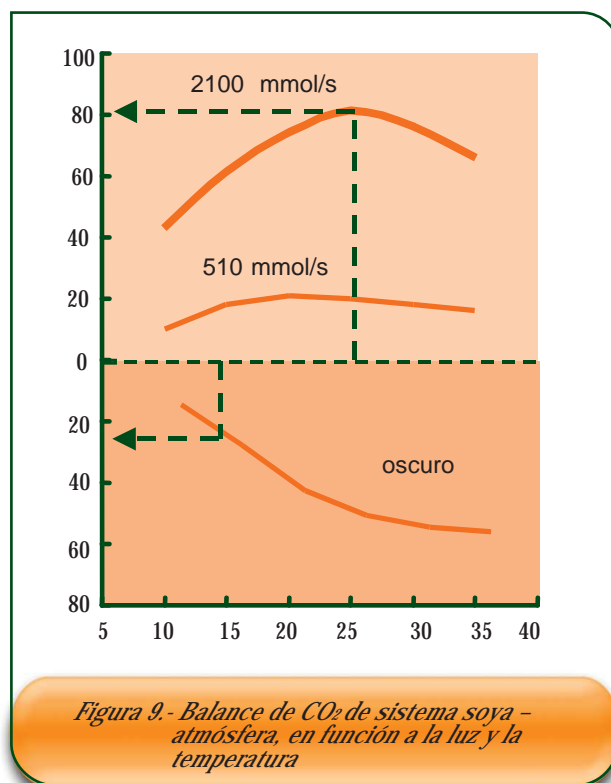
En los primeros siete días de encharcamiento, aparece el amarillamiento del cultivo, luego, comienza a recuperarse el tono verde original. Si el fenómeno ocurriera en la fase reproductiva, tendrá con seguridad perjuicios en la productividad. En realidad, el síntoma del amarillamiento de la soya ante el encharcamiento, refleja una deficiencia temporal del nitrógeno, por tanto el proceso de fijación biológica de este último es más sensible a la falta de oxígeno que a la planta de soya. Así, el uso del nitrógeno puede alterar el síntoma (Bacanamwo y Purcell, 1999). En esta fase, contrariamente a lo que ocurre en la germinación y en la emergencia, la soya parece ser más tolerante a la sequía que el maíz. Como puede ser visto (Figura 8), con un potencial de agua de - 10 bars no hay daño a la fotosíntesis líquida en el caso de la soya, pero en el maíz la caída es de, aproximadamente, el 30% en la fotosíntesis líquida.



TEMPERATURA

Con relación a la temperatura, el crecimiento vegetativo es excelente cuando las temperaturas medias se encuentran entre 25°C y 28°C. Se indica (Figura 9) el balance del CO₂, en la atmósfera, que envuelve al cultivo de la soya, en función de la luz y de la temperatura. Los números negativos significan la pérdida del CO₂ de la atmósfera para la planta, es decir el beneficio para la misma. En condiciones de buena luminosidad (2.100 mmol s⁻¹ m²), la máxima fijación ocurre a los 25°C. Con

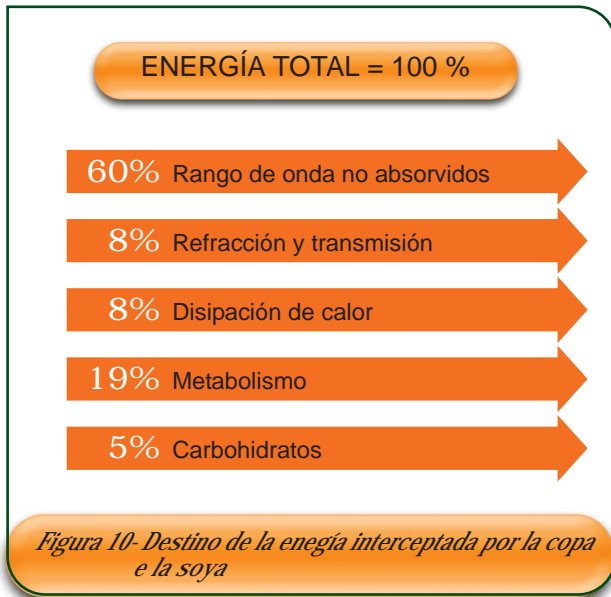
poca luminosidad (510 mmol s⁻¹ m²), la fijación es más baja, y el aumento ocurre entre 15°C y 20°C. En la oscuridad, la pérdida del carbono de parte de la planta es progresiva hasta los 30°C. De esta manera, considerando que el crecimiento líquido es el resultado de la fijación del carbono, menos la pérdida nocturna, se puede deducir que la situación ideal sería aquella donde las temperaturas diurnas medias no estén muy por encima de los 30°C y las temperaturas nocturnas no sean menores a 15°C, lo que proporcionaría un gran equilibrio del carbono fotosintético que podría ser utilizado para el crecimiento y producción de la planta.



LA LUZ

Es interesante recordar que la soya aprovecha solamente 5% de la energía luminosa para la producción de los granos (Figura 10). El 60% de la radiación es perdida, ya que se trata de las longitudes de onda no absorbidas o no usadas por la planta. Otro 8% es reflejado o transmitido a través de la copa y también resulta en pérdida. La planta sólo gasta el 8% de la radiación incidente para el mantenimiento de su temperatura

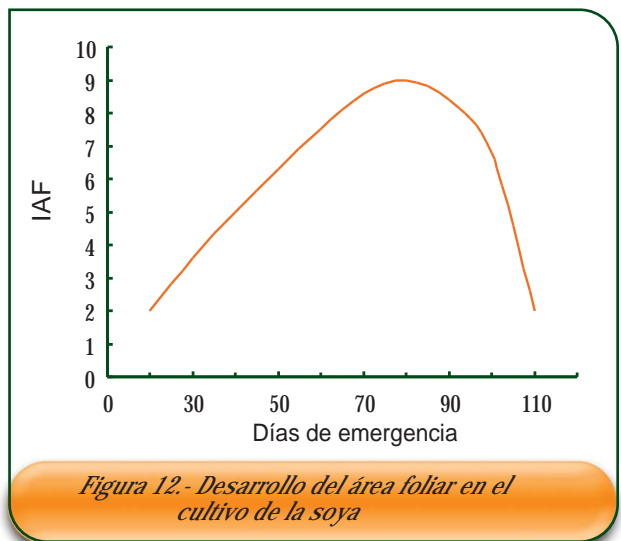
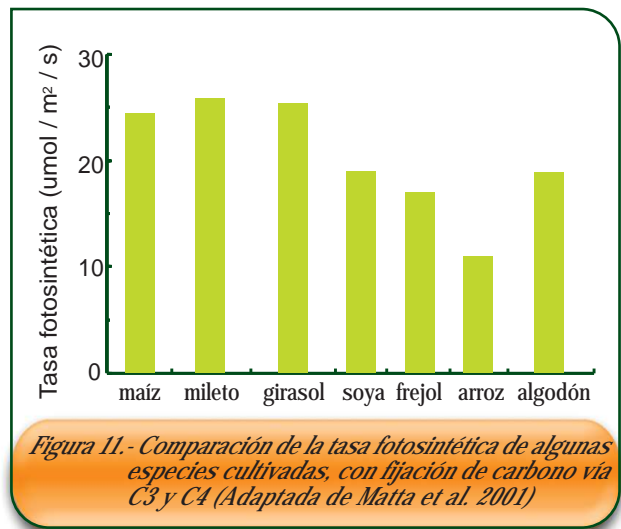
(disipación del calor), y otro 19% es utilizado en su metabolismo para mantenerse viva. Cualquier situación de estrés sobre la tasa fotosintética actuará en la pequeña porción de radiación incidente, que puede ser transformada en producción.



La soja es una planta que fija el carbón del aire por medio de C_3 . Significa que no se encuentra entre las plantas más eficientes al utilizar la luz. Por ejemplo, es menos eficiente que el girasol (que también es una planta C_3), pero es más eficiente que el arroz (Figura. 11). Su punto de compensación (punto del crecimiento cero) es alto, significa que necesita de cantidades relativamente altas de luz, de modo que produzca fotosíntesis cuando respira. Con luminosidad debajo del punto de la compensación, la planta respira más carbono del que es capaz de captar del aire, perdiendo entonces la materia seca que ya había sido producida (Figura 9). Por otro lado, la saturación luminosa (luminosidad a partir de la cual no aumenta mas la fijación del carbono) es relativamente baja (Figura 9). La planta no consigue aprovechar los días extremadamente claros.

La tasa del crecimiento relativo guarda estrecha relación con la cantidad de luz interceptada para la parte de la copa de la planta. Esta última intercepta toda la luz incidente, cuando se encuentra cubriendo totalmente el suelo, lo cual depende del índice del área foliar, es decir de de la cantidad de m^2 de hojas que existe por cada m^2

de suelo. Se muestra (Figura 12) un ejemplo del desarrollo del área foliar de la soja. Es posible percibir que el índice máximo del área foliar (alrededor de 9.0), se encuentra entre los 80 y los 90 días después de la emergencia de la planta, lo que correspondería a los estadios R5-R6. A partir de este punto el área foliar comienza a disminuir. La soja intercepta toda la luz incidente cuando tiene un índice del área foliar alrededor de 5.0, lo que ocurre entre los 40 y los 50 días después de la emergencia. De esa manera, la planta produce un exceso del área foliar, este último no perjudica la producción y resulta hasta beneficioso, ya que permite la pérdida de cantidad de hojas, lo que puede ser importante en el manejo de las plagas.



FLORACIÓN: PRINCIPIO DEL DESARROLLO DE LAS VAINAS

El cierre del cultivo (tiempo necesario para que la planta intercepte toda la luz incidente), depende del espaciamiento que se haya utilizado, de la población, del ciclo de la planta y de la fertilidad del suelo. Se muestran (Figura 13) los resultados de la cantidad de fotosíntesis realizada, en función de diversos espaciamientos y poblaciones. Es evidente que, a medida que el espaciamiento disminuye y la población aumenta, no sólo se obtiene más fotosíntesis sino también que la aparición más temprana del ápice de la planta ayuda para el logro de una productividad mayor. Así, cuanto más temprano se obtiene el 100% de la interceptación de la radiación solar (cuanto antes el cultivo se cierre), mejores serán las condiciones para el logro de una productividad mayor. Sin embargo, a medida que se disminuye el espaciamiento y se aumenta la población, mayor será el consumo de agua de parte de la planta, lo que puede conducir al acamado del cultivo y dañar el crecimiento y la productividad. También existen limitaciones de orden operacional en el uso de espaciamientos más estrechos o en la siembra al lance. Así, los mejores espaciamientos y poblaciones serán determinados en función de las limitaciones operacionales y del agua.

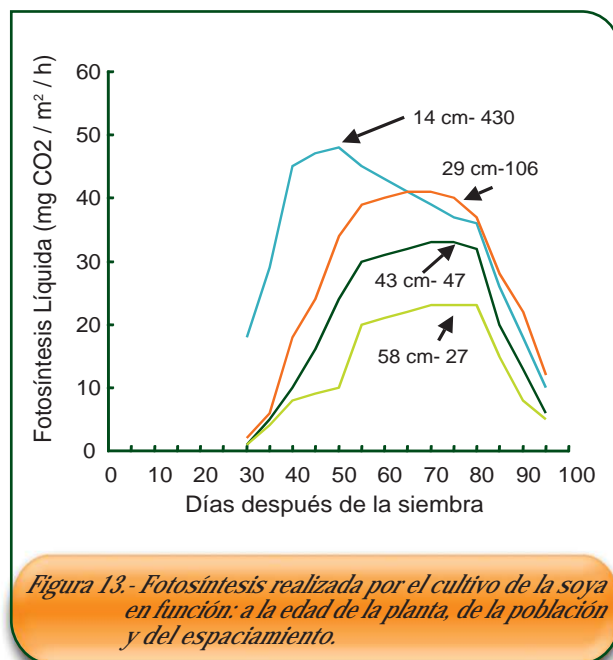


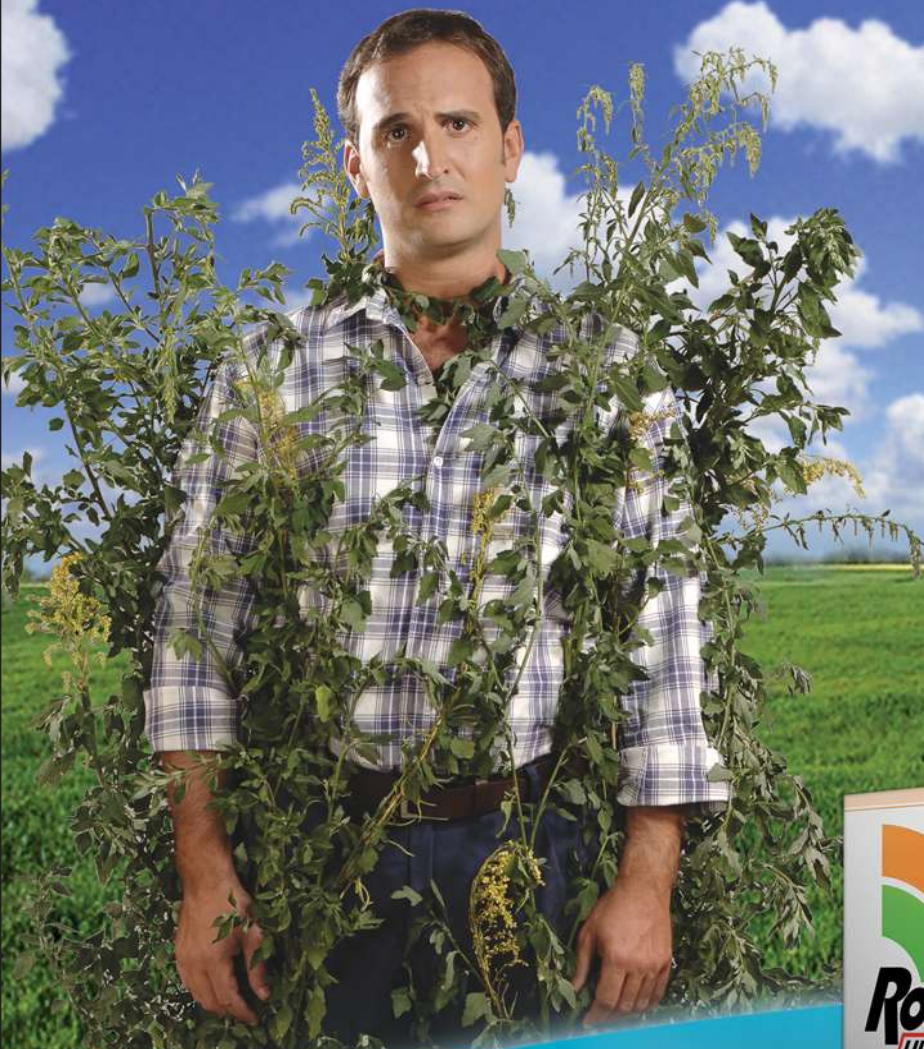
Figura 13.- Fotosíntesis realizada por el cultivo de la soya en función: a la edad de la planta, de la población y del espaciamiento.

La soya, originalmente es una planta de días cortos, es decir, tiene floración incitada cuando las noches se alargan. El período juvenil, durante el cual la floración no es inducida, era muy corto en los cultivos inicialmente traídos para el Brasil y utilizado por mucho tiempo. Esto hizo que las regiones adecuadas para el cultivo, así como las épocas de la siembra, fuesen limitadas. A través del mejoramiento, fueron incorporados los genes que proporcionan períodos juveniles más largos a los cultivos. Con esto, dejaron de existir las limitaciones mencionadas, por lo tanto, con un período juvenil más largo, la planta puede soportar épocas más amplias de siembra, y el área adecuada a la producción de la soya se extendió. Hoy, para estos cultivos, la mejor época de siembra está delimitada, principalmente, por la disponibilidad del agua. La floración de la soya se inicia mucho antes de que la flor esté visible o abierta. Normalmente, la inducción a la floración ocurre cerca de los 25 días antes de la apertura de la flor (Carlson y Lersten, 1987).

Las flores aparecen en inflorescencias axilares, en cantidades que oscilan entre 2 y 35 flores cada planta. Una planta de soya produce mucho más flores que las otras plantas que se desarrollan en vainas. Del 20% al 80% de las flores caen, aunque la abscisión puede ocurrir durante la diferenciación de la yema, la fertilización y el desarrollo de los órganos florales, es decir, durante cualquier estadio del desarrollo de la flor y de la floración. La mayoría de las flores cae después de la fecundación, entre 1 y 7 días después o antes. En general, las primeras y las últimas flores producidas por una planta de soya tienden a caer (Carlson y Lersten, 1987). La fase de floración (Fehr y Caviness, 1977), se caracteriza como R1 -una flor abierta en cualquier nudo del pedúnculo principal y R2 -una flor abierta en uno de los cuatro últimos nudos del pedúnculo principal con la hoja totalmente desarrollada-, mientras que el principio del desarrollo de las vainas va de R3 -vainas con 5 mm de longitud en uno de los cuatro nudos superiores del pedúnculo principal, con la hoja totalmente desarrollada-, a R4 -vainas con 2,0

No eligió

Eligió



Elija Roundup Full II
y Roundup UltraMax

Roundup



centímetros de longitud en unos de los cuatro últimos nudos superiores del pedúnculo principal con la hoja totalmente desarrollada.

EL AGUA

Normalmente, la evapotranspiración está directamente relacionada al índice del área foliar del cultivo, así, cuanto más hojas se tenga, mayor será la evapotranspiración. La fase de floración e inicio del llenado de las vainas de la soya, es aquella en la cual se observa la máxima área foliar y por lo tanto la mayor exigencia en agua (Cuadro 1). Esta fase, a pesar de su alta exigencia de agua, no está considerada como la más crítica, respecto a la sensibilidad a la falta de agua.

LA TEMPERATURA

Esta es la fase donde la soya es más sensible a cualquier tipo de estrés. La temperatura media óptima para el cuajado de las vainas va de 20°C a 27°C, pero la diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas también es importante para un buen cuajado.

Se puede observar (Cuadro 14) que, cuando la temperatura mínima llegó a 8°C, simplemente no hubo cuajado de las vainas. Esto fue mejorando hasta que se llegó a temperaturas de 30°C durante el día, y de 20°C durante la noche.

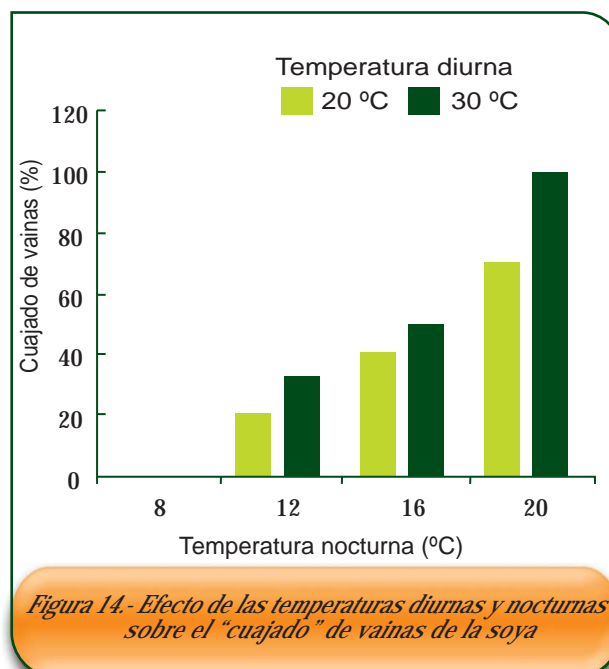


Figura 14.- Efecto de las temperaturas diurnas y nocturnas sobre el "cuajado" de vainas de la soya

LA LUZ

En esta fase, el cultivo de la soya también es sensible a la luminosidad, de esta última depende la cantidad de carbono fijado a través de la fotosíntesis (Tabla 2).

FOTOSÍNTESIS DE LA COPA (%)				
Sombra en				
el estadio	Vegetativo	Floración	Llenado	Producción (%)
Vegetativo	62	104	95	101
Floración	97	65	95	83
Llenado				
de granos	109	106	63	74

Tabla 2.- Efecto de la sombra; en los diferentes estadios de crecimiento de la planta, la fotosíntesis y la producción de la soya

Bajo efectos de la sombra, la fotosíntesis fue reducida entre el 62% y el 65%, lo cual sería normal. Sin embargo, cuando hubo sombra en la fase del crecimiento vegetativo no se observó perjuicio en la productividad. El mayor descenso en la productividad (26 %) ocurrió cuando la sombra fue impuesta durante la fase de llenado de los granos. La sombra en la floración ocasiona el bajo

porcentaje de cuajado de las vainas, de tal manera que el perjuicio más grande, en estos casos, estaría en el número de vainas por planta.

LLENADO DE LOS GRANOS

Esta fase se caracteriza por el desarrollo de los granos y por la maduración de la soya. Comienza desde el estadio R5 hasta el estadio R8 (Fehr y Caviness, 1977). Normalmente es la fase más sensible de la planta, en lo que respecta a su relación con los elementos del medio ambiente, por lo tanto cualquier estrés que ocurra en esta fase, afectará directamente, la producción de granos. En esta fase, pueden ocurrir perjuicios, no sólo en la producción de granos, sino también en la calidad del producto, sea éste destinado al uso industrial o a servir como semilla.

EL AGUA

Es interesante notar que al principio de la floración, es donde ocurre la evapotranspiración más grande (Cuadro 1). Sin embargo, la siguiente sub.-fase (desde el brote de las vainas hasta la visualización del 50% de hojas amarillas), en donde la exigencia de agua (evapotranspiración) es un poco inferior; es una etapa muy crítica para la productividad. Se debe a que cualquier estrés en esta época se reflejará directamente en el llenado de los granos. Haciendo



una correlación entre precipitación y productividad en la fase de floración - aparición de las vainas, fue obtenida la ecuación $y = 1275 + 3,8 P$. Significa que mientras no ocurran lluvias en esta fase, la productividad esperada sería de 1,275 Kg/ha y si lloviera, se tendría un incremento de 3,8 Kg/ha en la productividad, por cada milímetro de lluvia recibida. El mismo estudio fue realizado, considerando la fase siguiente de llenado de granos, la ecuación fue $y = 878 + 13,0 P$. Significa que la productividad sería de 878 kg/ha sin lluvias (menor que en la fase anterior), y que por cada milímetro de lluvia recibida se tendría un incremento de 13,0/ha en la productividad (una respuesta mayor que en la fase anterior).

Aunque la soya pueda tolerar periodos pequeños de sequía durante su ciclo, dependiendo del estadio fisiológico en que se encuentre, siempre que falte agua habrá un perjuicio, que puede ser mínimo, sobre la productividad. De acuerdo a lo que observamos (Figura 15) si se considera la ecuación de la recta ajustada, se evidencia que un déficit hídrico de 200 mm, durante el crecimiento de la planta, puede reducir hasta 2/3 de la producción (Sadras Calvino, 2001). Por otra parte, por cada mm de déficit hídrico observado, hay una reducción de 16 Kg/ha-1 en la productividad. Es interesante notar cómo estos resultados, conseguidos en el exterior, son similares a otros, obtenidos en el Brasil, en donde, cada mm de lluvia, tenía un incremento de 13 Kg/ha-1 en la productividad, según lo expuesto anteriormente.

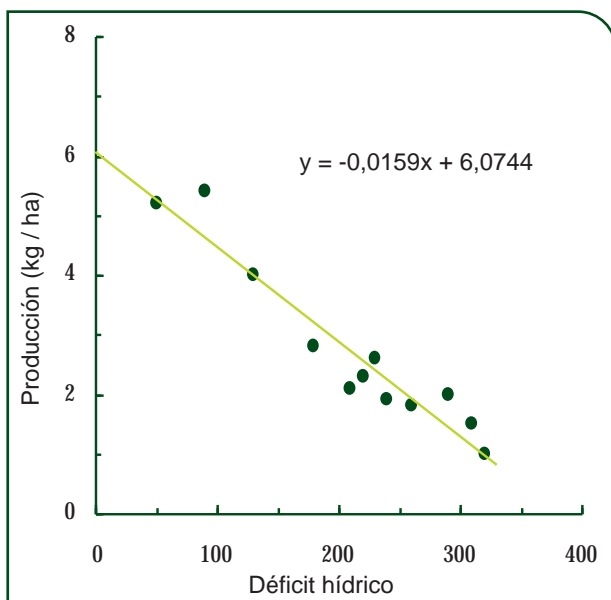


Figura 15.- Producción de soya en función al déficit hídrico ocurrido durante el ciclo del cultivo

Como se ha visto, la falta de agua tendrá diversas consecuencias en la productividad de la soya, dependiendo de la época que ocurra. Se puede ver (Figura 16) que la ocurrencia de sequía, durante el período reproductivo, siempre causará daños a la productividad de la soya. Por tanto, si la deficiencia hídrica ocurriera durante la formación de las vainas, el perjuicio sería más grande, tanto en el número de vainas así como en el peso de los granos.

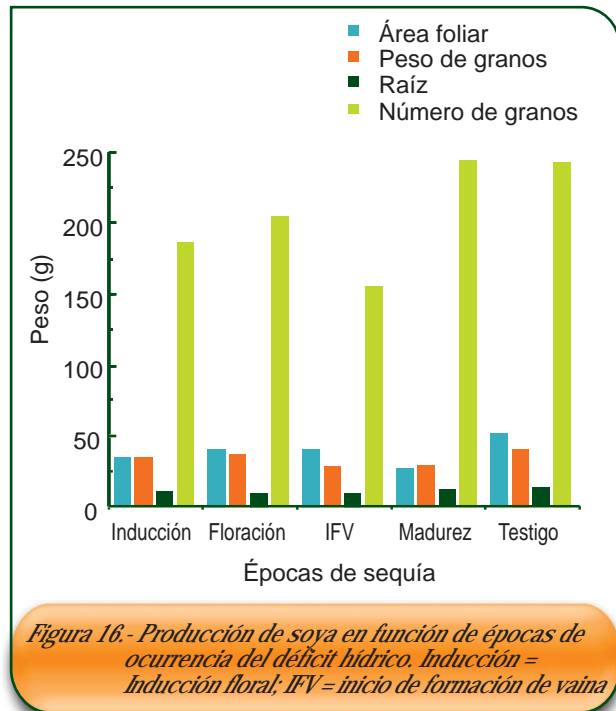


Figura 16.- Producción de soya en función de épocas de ocurrencia del déficit hídrico. Inducción = Inducción floral; IFV = inicio de formación de vaina

Si la sequía ocurre en el periodo de llenado de los granos, el síntoma más visible será la disminución del peso de 1000 granos (Figura 17), así se establece en un adaptado (Egli y Bruening 2004). En las primeras dos semanas, no hay diferencia significativa estadísticamente entre las plantas irrigadas o no irrigadas. Sin embargo, después de dos semanas, los granos de la planta irrigada continúan acumulando materia seca normalmente, mientras que los granos de las plantas con estrés moderado o fuerte quedan pequeños, alcanzando la diferencia un 20%. Si esto se extendiera a un cultivo con alto potencial de productividad, un perjuicio del 20% sería equivalente a más de 12 bolsas por hectárea, como se trata de granos menores, es un efecto difícil de ser notado antes de la cosecha.

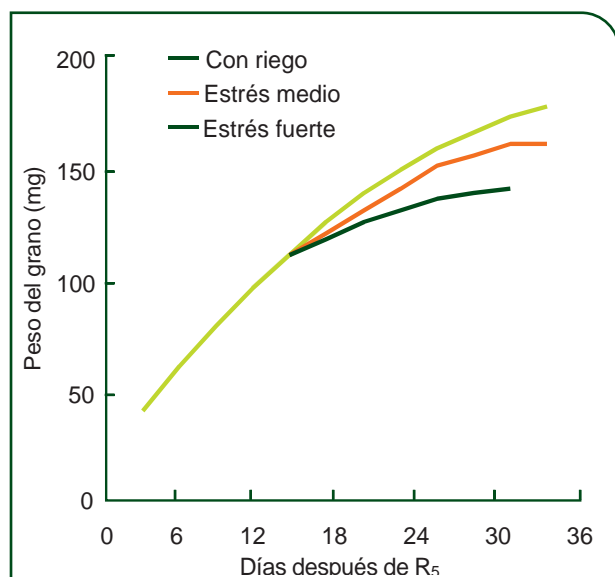


Figura 17.- Efecto de la sequía, causando estrés moderado y fuerte en la fase de llenado de granos en soya

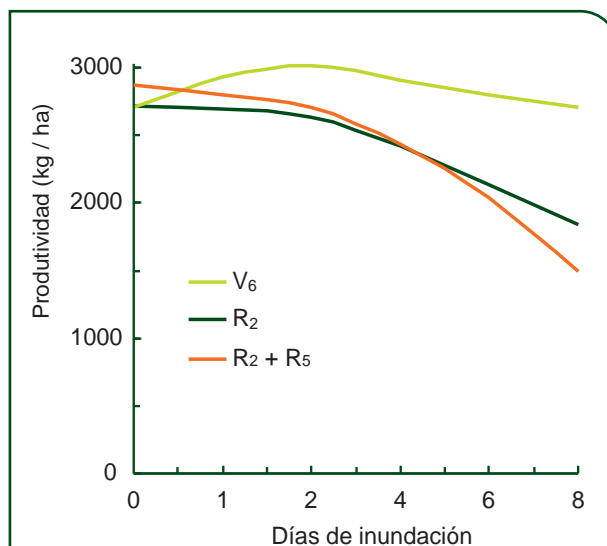


Figura 18.- Producción de soya en función al exceso de agua en las fases vegetativa y reproductiva (Adaptado de Griffin y Saxton, 1988)

Si ocurriera encharcamiento del suelo durante la fase reproductiva de la soya, contrariamente a lo que se observa durante el período vegetativo la productividad podría ser perjudicada. Encontramos que la soya soporta cierto exceso de agua sin consecuencias en la producción (Santos et al, 1989), pero si el encharcamiento es grande o persiste por más tiempo, perjudica la producción. Se puede ver (Figura 18) en un adaptado (Griffin y Saxton 1988) que después de dos o tres días de encharcamiento, se nota cierto daño en la productividad, cuando la inundación ocurre en los estadios reproductivos de la planta. Esta situación puede ser más crítica si por ejemplo, el exceso hídrico ocurrió en la época de temperaturas altas (sobre los 35°C), generando que, la transferencia de azúcares y de almidón para los granos en formación, sea perjudicada y la senescencia de las hojas resulte anormal, provocando el síntoma de pedúnculo verde con retención foliar. Dependiendo de la gravedad de la situación, puede ocurrir la germinación de las semillas en las vainas, si la humedad del ambiente fuera muy alta.

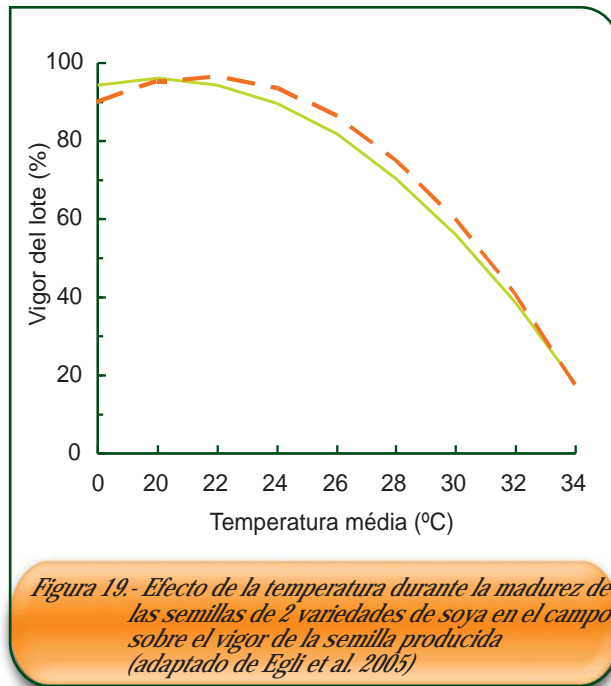
LA TEMPERATURA

El promedio de la temperatura media óptima para que ocurra un buen llenado de los granos es de 17°C a 21°C cuando está en la etapa de crecimiento vegetativo para el cuajado de las vainas y, posteriormente, para el llenado de los granos. Si la temperatura media es de 25°C a 26°C, durante el período de la maduración de los granos (Figura 19), puede haber prejuicios en el vigor de las semillas producidas, dependiendo de la variedad (Egli et al, 2005). Esto, aunque no aparezca al inicio de la germinación, puede comprometer el almacenamiento del lote, o en la emergencia en el campo, si se presentara cierto tipo de estrés durante la germinación y la emergencia de la plántula. Esta es una de las razones por las que, normalmente, se consigue una mejor calidad de las semillas de campos localizados en altitudes mayores.

LUZ

Para una alta productividad es interesante que hayan días claros en la fase de la maduración. En esta fase, la soya es también muy sensible a la intensidad luminosa. Para el logro de una alta

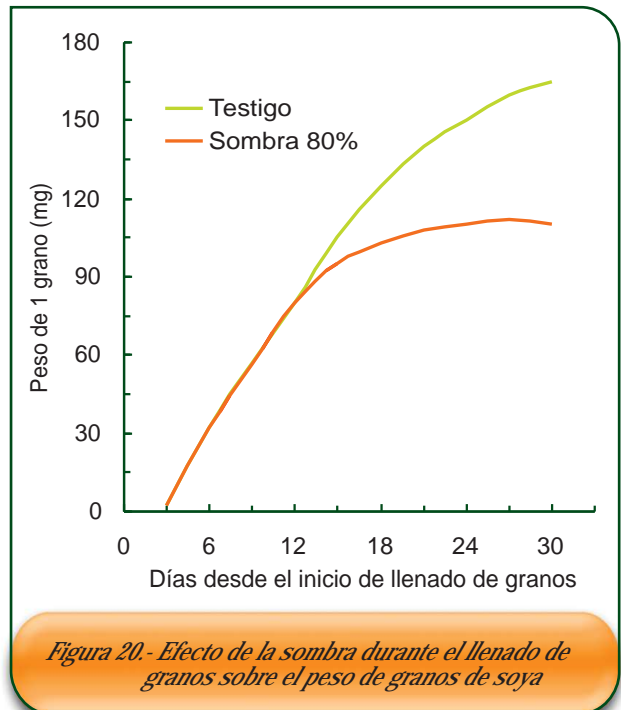
productividad resultan fundamentales los días claros por la gran disponibilidad de luz, las temperaturas amenas y la disminución en la disponibilidad hídrica. Así es posible cosechar un producto de alta calidad. Por lo tanto en un año muy lluvioso, es decir, con muchos días nublados, puede, eventualmente ocurrir cierto perjuicio en la productividad.



El día sombreado es perjudicial para la producción (Cuadro 2). Siempre que hubo la imposición de la sombra, la fotosíntesis fue reducida en un promedio que va de 65% a 62% lo cual sería normal. Sin embargo, cuando hubo sombra en la fase del crecimiento vegetativo, no se observó perjuicios en la productividad. El perjuicio más grande en la productividad fue observado cuando el sombreado fue impuesto durante la fase del llenado de los granos, con la caída de un 26% de productividad.

El sombreado en la floración causará una disminución en el cuajado de las vainas y el perjuicio más grande estaría en el número de vainas por planta. Cuando el estrés ocurra durante el llenado de los granos, se tendrá reducción en el peso de 1000 semillas, es decir, habrá producción de granos pequeños. En este caso el perjuicio solamente será notado en la balanza, (Figura 20) como lo muestra un adaptado (Egli y Bruening 2001). Así como el estrés por la sequía, o estrés debido a la falta de luminosidad, en esta época,

también se manifiesta por una reducción del peso de 1000 semillas, es decir, en la producción de granos pequeños, en este caso, el perjuicio también será notado solamente en la balanza. La semejanza entre los síntomas ocurre porque ambos factores del estrés disminuyen la fotosíntesis, perjudicando la producción de carbohidratos que irían a constituir los granos.



Para tener una idea del efecto de la luminosidad en la producción se tiene que la implementación con luz artificial, en esta fase, puede aumentar la productividad hasta en 24%.

INTERACCIONES

Normalmente, la dificultad más grande de interpretación de los efectos ambientales en los cultivos aparece porque la ocurrencia de un fenómeno aislado es rara. Asimismo, la sequía ocurre normalmente en conjunto con temperaturas altas. El exceso de humedad está normalmente acompañado de encharcamiento, si el suelo estuviera con su permeabilidad dañada. La interacción puede ocurrir en tiempos diferentes, por lo tanto un fenómeno relativamente común es la ocurrencia de un período lluvioso, con temperaturas amenas, seguido de períodos fuertes de insolación y de temperaturas altas.

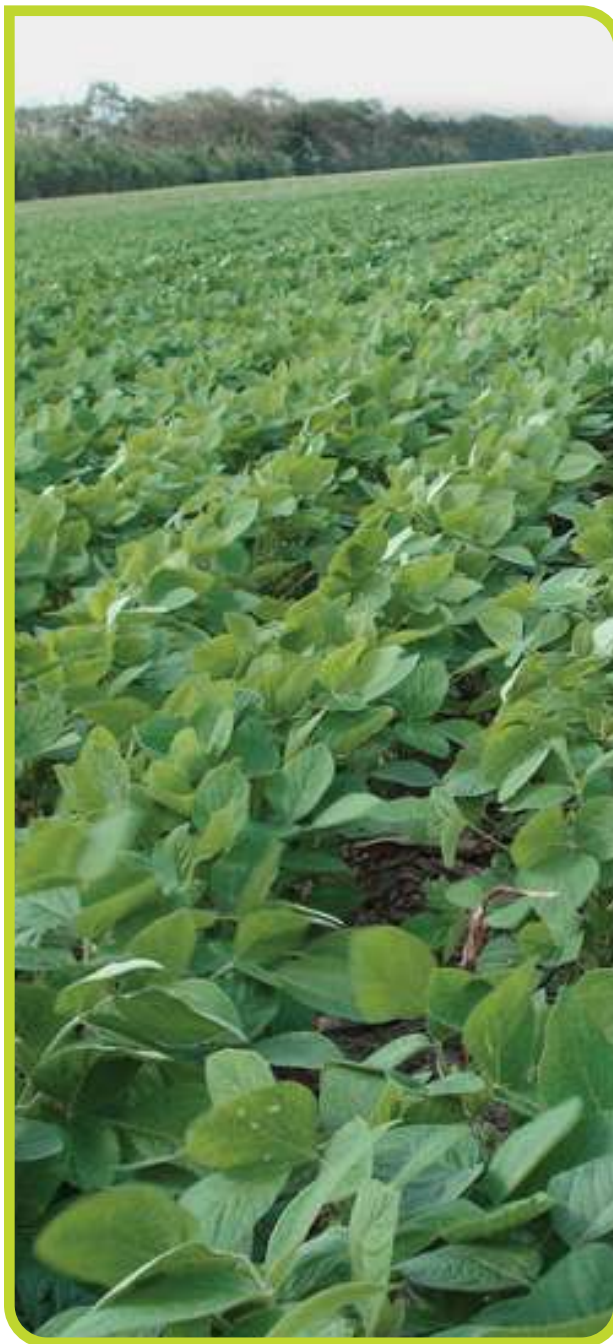
Algunos ejemplos de estas interacciones se han conocido en las zonas norte y este de Santa Cruz. En el período de llenado de granos se presentaron muchas lluvias y varios días nublados consecutivamente, seguidos de un período de altas temperaturas y de fuerte insolación. El resultado ha sido que, en un primer momento, la evapotranspiración de la planta fue perjudicada con el exceso de agua, la baja insolación, la humedad relativa del aire muy alta y el suelo saturado. Esto juntamente con la anoxia (carencia del oxígeno) condujo a la poca absorción de nutrientes principalmente boro (B) y calcio (Ca), dando como resultado un menor cuajado de flores, mayor cantidad de vainas vacías y producción de los frutos partenocárpicos. En un segundo momento, con la elevación de la temperatura y de la alta insolación, la maduración de las semillas fue dañada, observándose en la producción un porcentaje muy grande de granos verdes, en función de la senescencia forzada de la planta. Además de la baja producción de granos y de vainas fue observada una alta incidencia de pedúnculos verdes.

CONCLUSIÓN

La soja es un cultivo relativamente tolerante a las condiciones climáticas adversas. Principalmente durante su período vegetativo presenta una alta capacidad de recuperación. Sin embargo, cuanto más próximo está su potencial productivo mayor es la importancia de las intemperies para el cultivo. Así, las altas productividades se pueden lograr en condiciones de disponibilidad hídrica excelente, luz adecuada y temperaturas próximas ideales, con días relativamente calientes y noches amenas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bacanamwo, M.; Purcell, L.C. Soybean dry matter and nitrogen accumulation response to flooding stress, N sources and hypoxia. *J. Exp. Botany*, 50, 334: 689-696, 1999.
- Berlato, M.A., Bergamaschi, H. Consumo de água da soja: I. Evapotranspiração estacional em ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: *Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, I*, Anais, Londrina, 1978. p. 53-58.
- Bernardes, M.S., Câmara, G.M.S., Castro, D.S. Modificações morfológicas em soja provocadas por sombreamento em sistema agro florestal com seringueiras. In: *Congresso Brasileiro de Soja*, 1999. Anais, Londrina: EMBRAPA, 1999. p. 389.



- Boote, K.J.; Jones, J.W. Hoogenboom. Simulating growth and yield response of soybean to temperature and photoperiod. In: World Soybean Research Conference IV. Buenos Aires, 1989. Proceedings, Buenos Aires, 1989. p. 273-278.
- Bowen, H.D.; Hummel, J.W. Critical factors in Soybean seedling emergence. In: World Soybean Research Conference II. Corbin, F.T., ed. Boulder, Westview Press, Inc. 1980, p. 451-470.
- Câmara, G.M.S. Soja: Tecnologia de Produção II. Piracicaba, ESALQ, 2000. 450 pp.
- Carlson, J.B.; Lersten, N.R. Reproductive morphology. In: Wilcox, J.R., ed. Soybeans: Improvement, Production and Uses, 2nd ed. Madison: American Soc. Agron. 1987. p. 97-134.
- Egli, D.B.; Bruening, W.P. Source-sink Relationships, Seed Sucrose Levels and Seed Growth Rates in Soybean. *Annals of Botany*, 88: 235-242, 2001.
- Egli, D.B.; Bruening, W.P. Water stress, photosynthesis, seed sucrose and seed growth in soybean. *J. Agric. Sc.*, 142, 1-8, 2004.
- Egli, D.B.; TeKrony, D.M.; Heitholt, J.J.; Rupe, J. Air Temperature During Seed Filling and Soybean Seed Germination and Vigor. *Crop Sci.* 45:1329-1335, 2005.
- Griffin, J.L.; Saxton, A.M. Response of solid-seed soybean to flood irrigation. II. Flood duration. *Agron. J.* 80: 885-888. 1988.
- Jones, J.W., Smajstrla, A.G. Application of modeling to Irrigation Management of soybeans. In: World Soybean Research Conference II. Corbin, F.T., ed. Boulder, Westview Press, Inc. 1980, p. 571-600.
- Fehr, W.P.; Caviness, C.E. Stages of soybean development. Ames, IA: Agriculture and Home Economics Experiment Station and Cooperative Extension Service, Iowa State University, 1977. Special Report 80. 11 pp.
- Matta, F.M.; Loos, R.A.; Rodrigues, R.; Barros, R. Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 13, 1: 24-32. 2001
- Mederski, H.J.; Jeffers, D.L.; Peters, D.B. Water and water relations. In: Caldwell, B.E.; Howell, R.W.; Judd, R.W.; Johnson, H.W. (ed.) Soybeans: Improvement, production and uses. American Soc. Agron., Madison. 1973. p. 239-266.
- Muller, L. Fotossíntese. In: Myiasaka, S.; Medina, J.C. (ed.), A soja no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, 1981. p. 109-129.
- Mederski, H.J.; Jeffers, D.L.; Peters, D.B. Water and water relations. In: Caldwell, B.E.; Howell, R.W.; Judd, R.W.; Johnson, H.W. (ed.) Soybeans: Improvement, production and uses. American Soc. Agron., Madison. 1973.p. 239-266.
- Pires, J.L.F.; Soprano, E.; Cassol, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. *Pesq. agropec. bras.*, 37, 1: 41-50, 2002.
- Rosolem, C.A, Staduto, F.W.R., Fernandes, M.A., Nakagawa, J. Taxa de Elongação do Hipocótilo da Soja em Função da Temperatura. *Científica*, 19 (1): 169-179.1991.
- Sadras, V.O. e Calvino, P.A. Quantification of Grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower and wheat. *Agron. J.*, 93: 577-583, 2001.
- Santos, B.G.; Santos, D.S.B.; Gomes, A.S.; Pauletto, E.A.; Mesquita, J.A; Schuch, L.A.B. Comportamiento estomático y rendimiento de cinco genotipos de soja sometidos a diferentes niveles de humedad en el suelo. In: World Soybean Research Conference, IV. Buenos Aires, 1989. Proceedings, 1989. pp. 383-390.
- Westgate, M.E. Managing soybeans for photosynthetic efficiency. In: World Soybean Research Conference, VI. Chicago, 1999. Proceedings, 1999. pp. 223-228.