

## FOTOSÍNTESIS NETA Y FACTORES CLIMÁTICOS: APLICACIONES AL ESTUDIO DE ESPECIES VEGETALES

José CARDÚS<sup>1</sup>  
Miguel LASALA<sup>2</sup>

**RESUMEN.**—A partir de algunos trabajos elaborados desde 1970 por los autores y sus colaboradores, se describe la fotosíntesis neta instantánea, en función de los factores climáticos, en diferentes especies vegetales. Se muestran, asimismo, la técnica seguida y su aplicación a la caracterización de las diferentes variedades de una misma planta.

**SUMMARY.**— Following many works by the authors and his coworkers since 1970, the instantaneous net photosynthesis is described in terms of climatic variables in different plant species. The technique and its application to different varieties of the same vegetable species characterization are shown.

Los trabajos reunidos en el volumen titulado *L'eau et la production vegetale*, las obras escritas por ZELITCH y RAVINOVITCH, así como los trabajos de CHARTIER, nos condujeron a considerar y estudiar la posibilidad de la determinación de la fotosíntesis neta (P-r), en función de las variables climáticas registradas en los invernaderos de "El Marresme", zona dedicada a cultivos horto-florales bajo invernadero o protección, situada en el litoral catalán, al norte de Barcelona, de características climáticas mediterráneas.

Los datos climáticos medios estudiados permitieron fijar situaciones estacionales y oscilaciones diarias, así como las desviaciones extremas de las mismas (A. GARCÍA HOMS y J. CARDÚS).

Para simular las condiciones climáticas estacionales de los invernaderos, proyectamos y construimos una instalación de laboratorio que permitiera medir el gas carbónico absorbido por las plantas en función de las variables climáticas: luz, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad relativa, etc.

---

<sup>1</sup> Catedrático de Edafología y Profesor de Investigación (C.S.I.C.). Facultad de Farmacia. Universidad de BARCELONA.

<sup>2</sup> Investigador Científico del Centro de Investigación y Desarrollo. C/. Jorge Girona, 18-26 08034 BARCELONA.

La instalación constituye un sistema abierto de circulación de aire de flujo conocido, capaz de regular y controlar la humedad, temperatura e iluminación según las condiciones de trabajo. Esta corriente de aire pasa a través de una cámara en la cual se coloca la hoja de la planta a ensayar. Finalmente, un analizador de infrarrojos (IRGA) permite determinar la fotosíntesis neta (P-r), calculando el contenido de CO<sub>2</sub> absorbido por la hoja en el mencionado flujo de aire y comparándolo con la prueba en blanco.

Esta instalación fue posteriormente modificada y mejorada, tal como indicaremos más adelante.

Las medidas fueron realizadas simulando las condiciones estacionales, fijando las variables, iluminación y temperatura a 45.000 lux y 32°C, para condiciones de verano (invernadero sombreado); a 45.000 lux y 27°C, los de primavera-otoño, y a 25.000 lux y 22°C, los de invierno. Para todas estas condiciones se escogió como factor de variación la humedad relativa ( 25%, 50%, 80% y 95% respectivamente).

Los resultados obtenidos demostraron el aumento de la (P-r) con los incrementos de la humedad relativa, temperatura e iluminación. Evidentemente, los niveles de la fotosíntesis alcanzados dependían al propio tiempo de las especies vegetales ensayadas: *Phaseolus vulgaris*, *Dianthus cariophyllus* y *Lycopersicon esculentum*.

Siguiendo directrices semejantes, VELASQUES estudia la capacidad fotosintética neta de dos variedades de maíz, denominándolas respectivamente "Normal" y "Decusado". El carácter "Decusado" se refiere a la posición duplicada de sus hojas y mazorcas. Éstas se presentan dispuestas sobre cuatro ortósticos en nudos y verticilos dímeros, formando dos planos perpendiculares entre sí; se observan, desde un punto de vista polar, la disposición de sus hojas en forma de roseta.

Se estableció un experimento de campo que permitiera analizar a lo largo del ciclo vegetativo de este mutante su capacidad fotosintética en función de las variaciones del clima. La determinación de la fotosíntesis neta (P-r) fue llevada a cabo en hojas escindidas, en la instalación de laboratorio a la cual ya nos hemos referido anteriormente.

Paralelamente a la fotosíntesis neta, se controlaron: el estado fitosanitario, el potencial hídrico de las hojas, el contenido de macro-nutrientes y micro-nutrientes minerales en hojas y el de materia seca a lo largo del ciclo vegetativo, para calcular, al final, la producción de biomasa total.

Simultáneamente, se procedió a estudiar el estado nutritivo de las plantas, utilizando para ello las hojas en las que se había procedido a la determinación de la (P-r) (cf. VELASQUES *et al.*).

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la existencia de correlaciones estadísticamente significativas entre los contenidos en hoja, de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y zinc, con (P-r) de ambas variedades "Normales" y "Decusados" (véase tabla I). Sin embargo, en lo que se refiere al calcio, magnesio, cobre y manganeso, no pudimos observar correlaciones estadísticamente válidas con la indicada curva de (P-r).

Tabla I.

Elemento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Hierro	Zinc
Variación					
r	0'88-0'91	0'82-0'85	0'79-0'96	0'56-0'88	0'87-0'88
Significación	0'01	0'01-0'02	0'01	0'05-0'01	0'01

A la vista de los resultados obtenidos en los trabajos que acaban de reseñarse, uno de nuestros colaboradores, E. de MIGUEL, consigue mejorar la instalación para las medidas de la fotosíntesis neta (P-r), estableciendo un protocolo de trabajo y a base de un estudio estadístico de los resultados en diversas plantas cultivadas (*Zea mays*, *Lycopersicon esculentum*) y especies espontáneas (*Taraxacum* sp. y *Amaranthus vulgaris*).

La autora describe detalladamente la instalación incluida en la fig. 1 y establece las condiciones y protocolo de trabajo:

- Control de la temperatura en el T.S.C.<sup>3</sup>
- Control de la humedad relativa en la cámara de fotosíntesis.
- Estudio de la iluminación en el T.S.C.
- Caracterización del material vegetal.
- Cálculo de la (P-r).
- Control del contenido de CO<sub>2</sub> retenido en el túnel de simulación.
- Incidencia de la humedad relativa en la concentración del CO<sub>2</sub>.
- Control del tiempo de pervivencia o estabilidad de la capacidad fotosintética de las hojas.
- Estudio estadístico de la reproductibilidad de los resultados en la determinación de la (P-r).
- Estudio de la influencia de la humedad relativa (H.r.) y de la temperatura en el intercambio gaseoso de distintas especies vegetales.

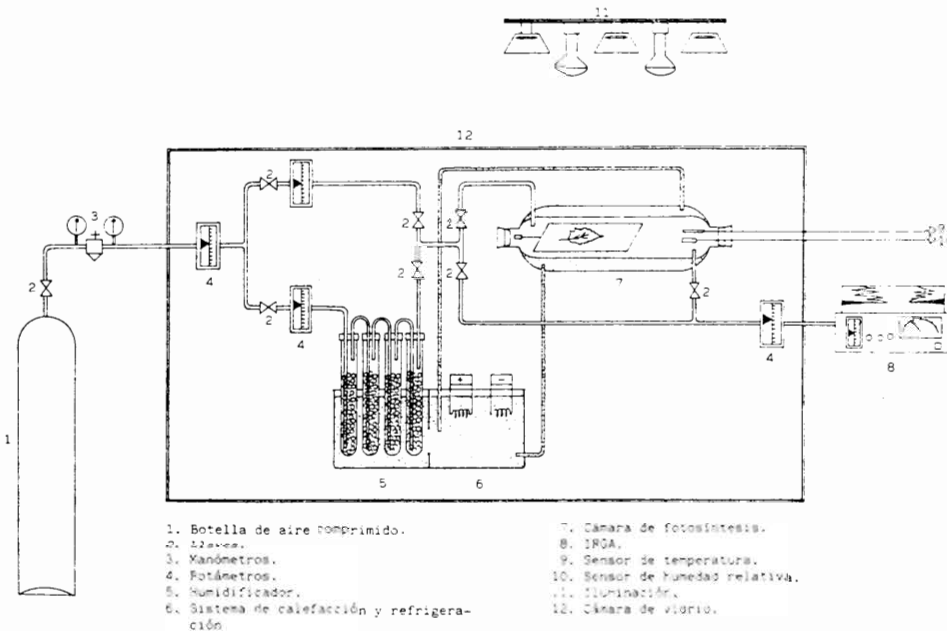


Fig. 1.- Túnel de simulación de clima (T.S.C.). Esquema.

<sup>3</sup> Túnel de simulación de clima.

Esta instalación permite controlar en la cámara las variables iluminación, temperatura, humedad relativa y concentración de  $\text{CO}_2$ , que sirven para la determinación de la fotosíntesis neta instantánea, así como variar uno de los parámetros manteniendo fijos otros. Conviene destacar la gran importancia que tiene en nuestro clima mediterráneo la determinación de (P-r) en función de la variación continua de la H.r., dada la gran influencia que ejerce en la producción de biomasa.

Paralelamente, otra de nuestras colegas, R. M.<sup>a</sup> MONTELLS, estudia la capacidad fotosintética (P-r) instantánea de cuatro variedades de maíz ( $V_1, V_2, V_3, V_4$ ). Dos de ellas constituyen líneas puras, la F2 ( $V_1$ ) y la DS 507 ( $V_2$ ), y dos híbridas, producto del cruzamiento de las F2 x DS 507 ( $V_3$ ) y la DS 507 x F2 ( $V_4$ ), pertenecientes al banco de germoplasma del *Departamento de Biología Molecular y Agrobiología del Centro de Investigación y desarrollo de Barcelona (C.S.I.C.)*.

Las semillas de dichas variedades fueron sembradas en macetas sobre sustrato artificial y situado en cámaras climatizadas en condiciones diurnas de 25°C de temperatura y nocturnas de 18°C, la humedad relativa regulada al 75% y el fotoperíodo 18 h, con una iluminación de 20.000 lux. Debe asimismo indicarse que las plantas fueron regadas con solución nutritiva completa, manteniendo el contenido de agua del sustrato, a la capacidad de campo.

La determinación de la (P-r) se realizó en el túnel de simulación de clima (T.S.C.), a los 15, 30, 45 y 60 días de su nacimiento, efectuándose a 15°C, 25°C y 35°C, y operando para cada una de estas temperaturas a 30%, 55% y 80% de humedad relativa.

El análisis estadístico realizado mediante el test de Tukey muestra que el mayor número de diferencias fotosintéticas significativas entre variedades se encuentra a 25°C, 80% de humedad relativa y a los 15 días del nacimiento de la planta.

Este test indica que, en estas condiciones,  $V_1 \neq V_2$ ,  $V_1 \neq V_3$ ,  $V_2 \neq V_4$ ,  $V_3 \neq V_4$ . En cambio, no existen diferencias significativas entre los pares  $V_4 - V_1$  y  $V_3 - V_2$ , los cuales resultan relacionados entre sí por el parecido comportamiento fotosintético que presenta el híbrido  $V_4$  con la línea pura  $V_1$ , por un lado, y el híbrido  $V_3$  con la línea pura  $V_2$ , por otro. No obstante, existen otras condiciones de temperatura y humedad relativa a lo largo del ciclo vegetativo que permiten la diferenciación entre dichas variedades.

Además, observando los coeficientes de variación, puede deducirse que las determinaciones efectuadas bajo el conjunto climático (80 % de humedad relativa y 25°C) son las que presentan una menor dispersión de los valores de la fotosíntesis neta. Asimismo, a los 15 días de edad de las plantas se obtienen valores de fotosíntesis neta más homogéneos, ya que presentan coeficientes de variación inferiores a las demás edades.

Por otra parte, A.M. OLLER estudió la relación existente entre el potencial hídrico y la humedad relativa, es decir, la pérdida de agua por transpiración y a través de las cutículas.

El porcentaje de agua de la hoja es un parámetro que varía según las condiciones de riego. Al comparar dos series de plantas, una regada diariamente y otra sin regar durante una semana, el porcentaje de agua de la hoja es más bajo cuando se suprime el riego; lo cual queda demostrado por la prueba unilateral de comparación de dos medias obtenidas en muestras grandes (más de 30 observaciones independientes).

El potencial hídrico de la hoja es un parámetro que nos indica mejor el estado hídrico de la misma que el porcentaje de agua. A grandes cambios en el potencial hídrico corresponden pequeños cambios en el porcentaje de agua (cuando el potencial hídrico cambia de -7,2 bars a -13 bars, el porcentaje de agua pasa del 87% al 82%). Aplicando la ya citada prueba unilateral, hemos relacionado el riego, por una parte con el potencial hídrico, y por otra con el contenido de agua en la hoja, alcanzando el valor Z de la prueba

estadística una cifra superior en el primer caso que en el segundo ( $7,86 > 7,57$ ) para una misma  $Z_{2x}$ , lo cual confirma lo expuesto anteriormente.

Entre el potencial hídrico y el porcentaje de agua en hoja existe una correlación de tipo exponencial.

$$y = 102,87 \cdot (-x)^{-0,0852}, r^2 = 0,77$$

x = potencial hídrico  
y = porcentaje de agua en la hoja.

Asimismo, existe una correlación de tipo exponencial entre el potencial hídrico y la humedad relativa ambiental. Siendo,

$$y = 1406 \cdot 0,650^{(-x)}, r^2 = 0,922$$

x = potencial hídrico  
y = humedad relativa.

En el *Lycopersicon esculentum* (cultivar P-66), en el momento de la primera floración, el *stress* hídrico viene definido por una humedad relativa inferior al 30% durante cuatro horas diarias como mínimo y constituye un factor limitante en la absorción de algunos elementos.

El hecho de que el descenso de la humedad relativa determine la disminución de la fotosíntesis neta y, asimismo, provoque el decrecimiento del potencial hídrico, parece indicar que la absorción de elementos nutrientes también estará correlacionada con la (P-r).

Más recientemente, HERNANDO *et al.* estudian la fotosíntesis neta (P-r) en hojas escindidas de *Lycopersicon esculentum* en función del clima, valiéndose del T.S.C.

Por otra parte, determinan *in vivo* la variación de la (P-r) a lo largo del día en hojas de la misma especie y variedad, cultivadas en invernadero de acuerdo con el esquema de la fig. n.º 2, y observan la posible relación con la absorción de nutrientes, mediante análisis foliar y savia. El muestreo de savia y hoja, así como las determinaciones de (P-r), se realizaron a lo largo del día a las 5, 8, 11, 14, 17 y 20 horas solares, en tres ocasiones durante el ciclo vegetativo, coincidiendo con la primera, segunda y tercera floración.

Los resultados obtenidos indican que las medidas de la (P-r) permiten conocer, para una iluminación dada, la temperatura y humedad relativa necesarias para alcanzar el mayor rendimiento fotosintético.

El contenido de nitratos en savia disminuye desde las 5 h. hasta las 14 h., en que alcanza un mínimo, iniciándose a partir de este punto un incremento del mismo; todo lo contrario de lo que ocurre con la (P-r). Por el contrario, el contenido en aminoácidos de la savia mostró durante el día un máximo a las 14 h.; momento que se corresponde con el mínimo de nitratos.

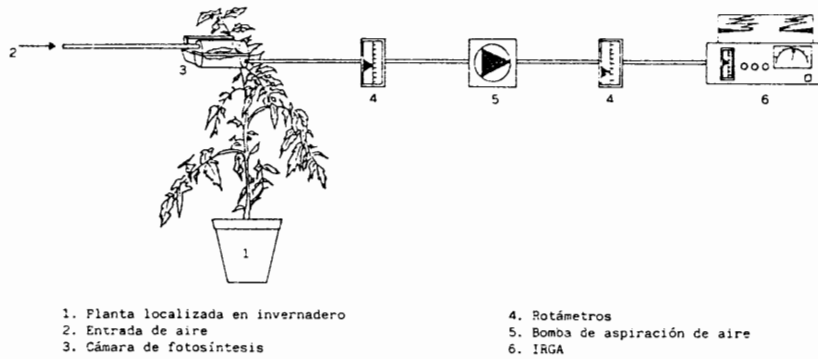
Seguramente, estos resultados podrían explicarse por la actividad de la nitrato-reductasa, coincidiendo con las horas durante las cuales la planta está bien provista de azúcares procedentes de la fotosíntesis.

\* \* \*

La labor investigadora que acabamos de resumir ha puesto en evidencia la importancia de poder efectuar la determinación de la capacidad fotosintética (asimilación neta), en función de las variables climáticas. Con ello se ha demostrado que la variación de dicha capacidad permite diferenciar especies e incluso variedades, a la vez que posi-

bilita el establecimiento de los valores de los parámetros climáticos óptimos para obtener un rendimiento fotosintético mayor.

También se ha observado correlación significativa entre la fotosíntesis neta y el contenido de nutrientes minerales en savia y hoja de las especies vegetales ensayadas.



Dibujo de la cámara (número 3) del esquema de la fig. 2

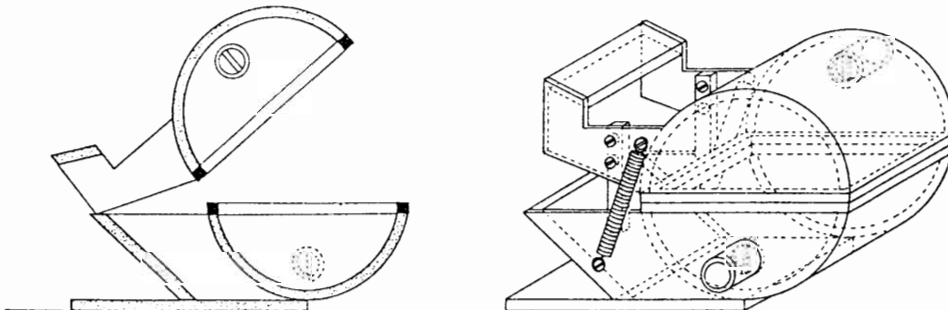


Fig. 2.- Esquema para determinaciones *in vivo* de (P-r).

BIBLIOGRAFÍA

- CARDÚS, J. y GARCÍA HOMS, A. (1974). Invernaderos en Zona Mediterránea. *Condiciones climáticas y manejo. I) Condiciones espontáneas. Hoja técnica*. INIA. N.º 4. Madrid.
- CARDÚS, J. y GARCÍA HOMS, A. (1974). Possibilité de mesure de l'assimilation nette en simulant le clima des serres. *Acta Hort.*, 42: 143-148.
- CARTIER, P. (1967). Lumière. Eau et Production de Matière Sèche du Couvert Vegetal. *Ann. Agronom.*, 18 (3): 301-331.
- CHARTIER, P. (1966). Étude teorique de L'Asimilation Brutte de la Feuille. *Ann. Physiol. Veg.*, 8 (3): 167-195.
- GARCÍA HOMS, A. (1974). *Contribución al estudio de las condiciones bioclimáticas y su control en la producción vegetal*. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A. Madrid.
- HALLAIRE, M.; PARCEVAUX, S. de; BOUCHET, R.J. & al. (1964). *L'eau et la production vegetale*. INRA. Paris.
- HERNANDO, V.; CARDÚS, J. LASALA, M.; MIGUEL, E. de (1987). Relationship between nutrients absorption in the vegetative cycle and Net Photosynthesis in tomato plants depending on climatic factors. *Journal of Plant Nutrition*, 10 (9-16): 1.613-1.622.
- MIGUEL, E. de (1984). *Contribución al estudio de la Fotosíntesis Neta en función de los parámetros bioclimáticos*. Tesina de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
- MONTELLS, R. M.ª (1985). *Influencia de los factores bioclimáticos en la Fotosíntesis Neta de Zea mays*, Tesina de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
- OLLER, A. (1986). *Contribució a l'Estudi de les relacions hídriques i l'absorció d'elements en una varietat de Lycopersicon esculentum L.* Tesina de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
- RAVINOVITCH, E.I. (1951). *Photosynthesis and related processes. Kinetics of photosynthesis*. Interscience Publishers. New York.
- VELASQUES, U. (1980). *Fotosíntesis en el Complejo Genético "Decusado" del Maíz frente a su versión "Normal", en relación a su Capacidad Productiva*. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A. Madrid.
- VELASQUES, U.; LASALA, M. & CARDÚS, J. (1982). Capacidad fotosintética de dos variedades de maíz y contenido de nutrientes en las hojas. *An. de Edafología y Agrobiología*, 43: 1.943-1.946.
- ZELITCH, J. (1971). *Photosynthesis, Photorespiration, and Plant Productivity*. Academic Press. New York and London.