

FOTOSINTESIS Y OTROS PARAMETROS FISIOLÓGICOS EN PLANTAS DE YUCA *Manihot esculenta* Crantz INFECTADAS CON VIRUS

Patricia Holguin H. *

Robert Collazos C. *

James H. Cock **

COMPENDIO

Se estudió el efecto que producen los virus Latente, Mosaico Caribeño y Cuero de Sapo sobre la fotosíntesis y algunos parámetros fisiológicos relacionados con ellas en la planta de yuca. Los materiales enfermos se sembraron en potes y a los 45 días se iniciaron las mediciones, tres veces cada quince días. Como la sintomatología del virus del Mosaico Caribeño varía con la temperatura ambiental, se aprovechó esta situación para medir fotosíntesis. Las plantas afectadas por el virus Cuero de Sapo se podaron para registrar la fluctuación de las tasas fotosintéticas y probar la hipótesis de que el virus afecta la translocación de carbohidratos a las raíces.

ABSTRACT

The effect produced by the Latent virus, Caribbean Mosaic virus and Skin Frog virus on Cassava photosynthesis and some physiological parameters related to that species. Diseased materials were planted in pots and 45 days after planting measurements were initiated, three times every 15 days. Symptomatology of the Caribbean Mosaic virus varies with environmental temperature, fact which was used to measure photosynthesis and other parameters. For the study of Skin Frog virus cassava plants were pruned to observe any fluctuation in the photosynthesis rate and to test the hypothesis that this virus affected carbohydrate translocation to the roots of the plant.

* Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

** Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT. A. A. 6713, Cali, Colombia.

1. INTRODUCCION

El cultivo de la yuca en la zona tropical ha tenido creciente importancia en los últimos años, lo cual ha motivado la implantación de programas de investigación en países interesados en la producción y aprovechamiento de esta importante fuente de energía.

Por ello cada día se adelantan nuevos estudios para descubrir las causas de los diferentes problemas que afectan la producción del cultivo, como las enfermedades y entre ellas las causadas por virus. En nuestro medio el conocimiento de sus agentes causales y medidas de control es limitado, aunque la yuca es tolerante a las enfermedades y se recupera fácilmente después de un ataque de estas, la presión continua de ellas tiende a reducir los rendimientos.

Es así, como se ve la necesidad de estudiar el efecto que tienen estos agentes infecciosos sobre la planta de yuca. Se supone que un efecto importante se ejerce sobre el mecanismo de la fotosíntesis, ya que las tasas fotosintéticas de las hojas determinan la cantidad total de biomasa y la distribución de ella en cada una de las partes de la planta. En la yuca, por ejemplo, el 90 - 95 o/o de la materia seca de la planta proviene de la fotosíntesis.

La yuca no tiene marcados períodos que afectan la formación de órganos productivos y por lo tanto puede ser más tolerante que otros cultivos al ataque de insectos y enfermedades que reduzcan el número de ápices activos de raíces y el tamaño de la hoja. Pero los rendimientos de la yuca se pueden reducir severamente por ataques que reducen la longevidad foliar y la tasa fotosintética durante períodos largos.

El presente trabajo tuvo como objetivos estudiar las tasas fotosintéticas netas de plantas enfermas y sanas, determinando los siguientes parámetros: transpiración, uso eficiente del agua, resistencia de la hoja a la salida del vapor de agua, resistencia del mesófilo a la entrada del CO_2 y concentración interna del CO_2 . Además, se cuantificó el contenido de clorofila total y se hizo descripción histológica de los órganos fotosintéticos de las plantas de yuca infectadas y no infectadas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), utilizando tres variedades de yuca: Mcol 22, infectadas con virus latente, Secundina (Mcol - 2063), infectada con el virus del Mosaico Caribeño y Quilcacé (Mcol - 2062), infectada con el virus Cuero de Sapo. El

material sano se certificó mediante injertos.

El experimento se diseñó completamente al azar. En el caso del virus latente y del Mosaico Caribeño estuvo constituido por una variedad, dos tratamientos (enfermas y testigos) y cuatro repeticiones. Para el experimento con Cuero de Sapo se incluyeron además tres situaciones (sin poda, media poda y una hoja).

Ocho días antes de empezar a hacer las mediciones se podaron las plantas enfermas y testigos, para que mostraran mayor actividad fotosintética por medio del cambio de la relación fuente receptora. Esta se hizo cortando intercaladamente las hojas, solo en el experimento con Cuero de Sapo se dejaron cuatro plantas sin podar y cuatro plantas con una sola hoja con sus respectivos testigos, esto con el fin de determinar posibles variaciones fotosintéticas ocasionadas por problemas de translocación de carbohidratos.

Los parámetros estudiados fueron: fotosíntesis, transpiración, uso eficiente del agua, resistencia de la hoja a la salida del vapor de agua, resistencia del mesófilo a la entrada del CO_2 , concentración interna del CO_2 , déficit de presión de vapor de agua. Las variables se midieron tres veces cada quince días, a partir de los 45 días de la siembra, entre las 10.00 y 13.00 horas.

Se tomaron las hojas del crecimiento intermedio de la planta y solo se introdujo el lóbulo central en la cámara. El proceso de medición de estos parámetros se inicia con la entrada de CO_2 del ambiente desde una altura de 15 m., pasa a un frasco mezclador de aire donde es succionado por una bomba y de esta al frasco donde se humedece la mezcla de aire. De allí a una bomba succionadora para que vaya a los canales 1 a 6. Estando ya la mezcla homogénea y constante, pasa a las cámaras 1 a 5, donde se mide un lóbulo por cámara acercándole la lámpara de luz con una intensidad de 1800 micro Einsteins/ $\text{m}^2 \cdot \text{seg}$ (Quantum Radiometer Photometer, Modelo LI-185). La cantidad de clorofila total se determinó al final de cada ciclo de medida. En el estudio anatómico de la hoja se midió el espesor de la epidermis, parénquima de empalizada, parénquima esponjoso y diámetro de las células parenquimatosas. Se calcularon promedios, análisis de varianza y pruebas de Duncan para cada variable.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Virus latente.

En las plantas infectadas con virus latente se destaca una menor fotosín-

tesis/hoja diferencia que es significativa, además de un incremento en la resistencia del mesófilo/hoja a la entrada de CO_2 , la cual no presenta ningún nivel de significancia aunque es más alta en las plantas enfermas; lo que sucede también con la concentración interna de CO_2 (Cuadro 1). La eficiencia en el uso del agua es bajo, aunque no hay variación en la transpiración ni en la resistencia de la hojas a la salida del vapor de agua. Tampoco se observa variación alguna en la cantidad de clorofila total en las plantas infectadas.

Este virus, aunque no causa ningún síntoma foliar, está afectando la fotosíntesis/hoja. El incremento de la resistencia del mesófilo a la entrada de CO_2 en las plantas infectadas podría explicar en parte esta merma en la fotosíntesis, ya que ocasiona un aumento en el contenido interno de CO_2 en la transpiración como en la fotosíntesis, ya que se tiene una resistencia a la salida del vapor de agua normal, sin embargo, la eficiencia del uso del agua disminuye hasta un 20 o/o, que no es significativa. Tampoco hay cambio en la cantidad de clorofila total, ni indicio de alguna alteración en la eficiencia de la fijación de CO_2 en los cloroplastos.

Si dicha eficiencia fuera poca se mostraría en un incremento significativo en la resistencia del mesófilo, lo cual no se registró. En algún lugar de la célula el virus debe estar provocando alguna alteración en la parte bioquímica que se refleja en la baja eficiencia fotosintética.

Aunque el virus no altera el espesor del área fotosintéticamente activa, parénquima de empalizada, si disminuye el diámetro de sus células, lo que hace que sea mayor su número por área y que presenten menor resistencia al flujo de CO_2 por su mayor espacio libre.

3.2. Virus del Mosaico Caribeño.

Las plantas que muestran síntomas de Mosaico Caribeño presentan menor fotosíntesis/hoja y baja cantidad de clorofila total (Cuadro 2); la diferencia fotosintética siguió siendo ligeramente más bajo con relación a los testigos, aunque no fue significativa.

En ambas situaciones la concentración interna de CO_2 es menor en las plantas infectadas, no se presenta variación alguna con respecto a los testigos en la resistencia del mesófilo. La transpiración es menor en las plantas enfermas con y sin síntomas, presentándose un incremento en la resistencia de la hoja a la pérdida de vapor de agua. El uso eficiente del agua es mayor en relación con los testigos en ambos casos, pero la diferencia no es significativa.

Cuadro 1

Prueba de Duncan para los parámetros fotosíntesis, transpiración, uso eficiente del agua, resistencia del mesófilo y CO₂ interno, con respecto a la fuente de variación virus Latente

Parámetros	Testigo	Enfermas
Fotosíntesis	29.79	24.43 *
Transpiración	1.47	1.44
Uso eficiente del agua	22.95	18.83
Resistencia de la hoja a la salida de vapor de agua	3.69	4.09
Resistencia del mesófilo a la entrada de CO ₂	3.76	5.33
CO ₂ interno	184.70	207.60

* Nivel de significancia del 5 o/o

** Nivel de significancia del 1 o/o

Cuadro 2

Prueba de Duncan para las variables fotosíntesis, transpiración, W. U. E., R. L. W., resistencia del mesófilo y CO₂ interno, con respecto a la fuente de variación virus Mosaico Caribeño

Variable	Testigo	Enfermas con síntomas	Testigo	Enfermas sin síntomas
Fotosíntesis	26.02	21.16 *	32.35	28.30
Transpiración	1.97	1.48 **	1.64	1.40
Uso eficiente del agua	14.66	16.21	14.50	22.22
Resistencia de la hoja a la salida del vapor de agua	3.60	4.66 *	2.91	3.20
Resistencia del mesófilo a la entrada de CO ₂	5.32	5.34	5.87	4.70
CO ₂ interno	161.33	134.70	209.30	163.60

En las plantas con síntomas severos lo más destacado es la distorsión en el arreglo de los tejidos en los pliegues de la deformación de la lámina foliar, además de esto se observaron incrementos significativos en el espesor de la epidermis, la longitud del parénquima de empalizada y disminución en el diámetro de las células parenquimatosas.

La presencia de los síntomas del Mosaico Caribeño denotan en las áreas cloróticas una merma en la cantidad de clorofila (Alagianagaliangam y Ramakrisham, 1; Duniway, 4), pero el hecho más importante es que aunque disminuye el nivel de clorofila no hay cambios en la resistencia del mesófilo, lo cual indica que los efectos del virus no actúan directamente sobre la parte bioquímica de la fotosíntesis, lo que muestra que probablemente en la yuca el nivel de clorofila no es limitante para la planta en un determinado rango.

La baja concentración de CO_2 en la hoja muestra que hay alta resistencia estomática a la entrada del mismo, pues no se notan cambios en la resistencia del mesófilo. Por lo tanto la disminución en la fotosíntesis se debería al aumento de la resistencia estomática.

La mayor resistencia de la hoja a la pérdida de agua en las plantas con y sin síntomas denota poca pérdida de agua por transpiración, la cual disminuye a medida que se van desarrollando los síntomas de la enfermedad como lo señalaron Narayanasamy y Ramakrishman (7) y Owen (8).

La mayor resistencia de la hoja a la pérdida del vapor de agua, explicaría el incremento en el uso eficiente del agua por parte de las plantas infectadas con y sin síntomas.

El porcentaje de disminución de la fotosíntesis/hoja y de concentración de CO_2 en la hoja es muy semejante (cerca del 19 o/o), lo que indica que están en la misma proporción de fijación, por lo tanto habría algún mecanismo físico que estaría incidiendo en la concentración de CO_2 en el interior que afectaría la tasa fotosintética. Este mecanismo sería la apertura de los estomas que provoca un incremento en la resistencia estomatal.

A medida que aparecen las nuevas hojas sin síntomas la fotosíntesis/hoja va siendo mayor, lo que muestra la sensibilidad del virus sobre la fisiología de la planta a los cambios externos, aunque esta incidencia no llega a ser nula en el momento en que los síntomas desaparecen por completo.

La distorsión celular del tejido foliar en las hojas con síntomas posiblemente tenga un efecto sobre el funcionamiento normal de los estomas, disminuyendo la tasa fotosintética.

3.3. Virus Cuero de Sapo.

Las plantas infectadas presentan una reducción de la fotosíntesis/hoja en un 50 o/o, diferencia que es significativa, y que se acentúa a medida que la planta crece. La resistencia del mesófilo a la entrada del CO_2 presenta un incremento significativo, igual acontece con la concentración interna del CO_2 en la hoja, que es mayor en la plantas enfermas (Cuadro 3).

La transpiración disminuye sin significancia y con significancia el uso eficiente del agua. En cuanto a la resistencia de la hoja a la pérdida del vapor de agua hay un incremento no significativo.

En las plantas con media poda y una sola hoja e infectadas la fotosíntesis/hoja fue similar, pero mayor que la de las plantas sin poda. La transpiración aumenta a medida que la poda se hace más rigurosa (1 hoja). El uso eficiente del agua disminuye significativamente para las plantas sin y con media poda, sin embargo, para las de una hoja la disminución no es significativa.

La resistencia de la hoja a la pérdida del vapor de agua se incrementa en las plantas enfermas no podadas, mientras que en las podadas disminuye, pero en ambos casos las diferencias no son significativas.

Se observó un incremento significativo en la resistencia del mesófilo en las plantas sin poda e infectadas, en los otros casos de poda no hubo cambios significativos.

En las tres situaciones de poda la concentración interna del CO_2 fue más alta que la de sus testigos, pero el incremento fue significativo en las plantas sin y con media poda. En cuanto a la cantidad de clorofila total no se observaron diferencias significativas en ninguno de los casos de poda.

En tejidos enfermos se observó un incremento significativo en el espesor del parénquima esponjoso y un incremento en el número de espacios intercelulares.

La disminución en la capacidad fotosintética a nivel celular se reflejó en alta resistencia del mesófilo a la entrada de CO_2 . A su vez, cuando la resistencia del mesófilo es alta, también lo es la concentración interna del CO_2 .

Una relación alta de resistencia del mesófilo/resistencia estomatal va a reflejarse en una baja eficiencia del uso del agua, sin ningún cambio necesario en la resistencia estomática.

Cuadro 3

Prueba de Duncan para los parámetros fotosíntesis, transpiración, W. U. E., R. L. W., resistencia del mesófilo y CO₂ interno con respecto a la fuente de variación virus Cuero de Sapo

Parámetro	Sin poda		Media poda		Una hoja	
	Testigo	Enferma	Testigo	Enferma	Testigo	Enferma
Fotosíntesis	26.80	13.00**	31.80	29.80	32.00	29.10
Transpiración	1.34	1.16	1.77	1.70	1.80	1.92
Uso eficiente del agua	20.20	15.20*	18.60	15.60*	17.70	15.30
Resistencia de la hoja a la salida del vapor de agua	4.54	5.60	3.36	3.07	3.80	2.90
Resistencia del mesófilo a la entrada del CO ₂ .	5.10	9.60*	6.30	4.72	4.00	4.40
CO ₂ interno	97.40	189.80*	120.64	182.60*	144.10	162.30

Hay que destacar la disminución en la tasa fotosintética a medida que las plantas van creciendo. Esto indica que una reducción en la relación capacidad receptora de las raíces con el tamaño de la fuente fotosintética, puede resultar en un efecto directo sobre la fotosíntesis. Este efecto está relacionado con cambios en la resistencia del mesófilo; sin embargo, esto sugiere que el efecto del virus Cuero de Sapo no es un efecto directo sobre el aparato fotosintético, si no más bien un efecto sobre la relación entre la capacidad fotosintética y la capacidad receptora de las raíces.

El Cuero de Sapo reduce la capacidad de las raíces para recibir carbohidratos. Esto muestra que cuando hay infección por el virus, es posible que los carbohidratos se acumulen en las hojas impidiendo el normal funcionamiento del aparato fotosintético (Alagianagalingam y Ramakrishnam, 1; Beck, 2; Duniway, 4).

Es posible que el mayor espesor del parénquima esponjoso en hojas infectadas se deba a la acumulación de almidones en estas células.

La similitud de las tasas fotosintéticas entre las plantas podadas, enfermas y sanas, muestra que el efecto del virus es sobre la relación entre la capacidad fotosintética y la capacidad receptora de las raíces. O sea que con la poda se está equilibrando esta relación, ya que la receptividad de las raíces sigue siendo limitada por el virus.

Las diferencias en la resistencia de la hoja a la pérdida del vapor de agua entre las plantas podadas y no podadas, se explican por la más alta transpiración total de las plantas no podadas. Esto es obvio ya que el área foliar va a ser más grande en las plantas no podadas.

Suponiendo que la resistencia entre el suelo y las hojas al movimiento del agua sean iguales, se espera menos flujo de agua a cada hoja en las plantas con más follaje. Si esto es cierto, las hojas en las plantas no podadas pueden estar sufriendo cierto nivel de estrés hídrico que podría causar un cierre parcial de los estomas.

Los cambios en la resistencia del mesófilo a la entrada del CO_2 entre las plantas enfermas podadas y sin podar, se explican por los cambios en la capacidad fotosintética ya que una disminución en esta se refleja en alta resistencia del mesófilo a la entrada del CO_2 . Por consiguiente, este incremento en la resistencia del mesófilo va a causar alta concentración interna del CO_2 .

4. CONCLUSIONES

- 4.1. La disminución de la tasa fotosintética en las plantas enfermas con virus latente se debe a alteraciones en la parte bioquímica que involucra este proceso.
- 4.2. El virus latente no causa ningún síntoma en las plantas, puede perjudicar la productividad por su efecto directo sobre la fotosíntesis.
- 4.3. Las tasas bajas de fotosíntesis en las plantas que presentan los síntomas del Mosaico Caribeño están directamente relacionadas con la apertura de los estomas.
- 4.4. El menor contenido de clorofila en las plantas con síntomas de Mosaico no causa cambio alguno en la resistencia del mesófilo, por tanto no es un factor limitante de la fotosíntesis en la planta de yuca.
- 4.5. Las áreas de distorsión celular en el tejido foliar están afectando el funcionamiento normal de los estomas en las plantas con síntomas visibles de Mosaico.
- 4.6. El virus Cuero de Sapo no actúa directamente sobre el aparato fotosintético, sino que afecta la relación entre la capacidad fotosintética y la capacidad receptora de las raíces.
- 4.7. En plantas infectadas se reduce la capacidad de las raíces para almacenar carbohidratos.

5. BIBLIOGRAFIA

1. ALAGIANAGALINGAM, M. N. and RAMAKRISHNAM, K. Studies on a virus disease of Tapioca *Manihot esculenta* carbohydrate metabolism. Madras Agricultural Journal. v. 57, p. 55-62. 1970.
2. BECK, B. D. A. and CHANT S. R. A preliminary investigation on the effect of mosaic virus on *Manihot utilissima* Pohl in Nigeria Tropical Agriculture . v. 35, p. 59-64. 1958.
3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Annual Report, 1981. Cali, -pp. 2-3.
4. DUNIWAY, J. M. Water status an imbalance. Physiological plant pathology. Encyclopedia of plant physiology; New York, Springer-Verlag, 1976. v. 4. pp. 430-436.

5. DIENER, T. O. Physiology of virus infect plants. Annual Review of phytopathology. v. 1, p. 197-218. 1963.
6. MAHON, J. D. et al. Enviromental effects on photosynthesis and transpiration in attached leaves of cassava. Photosynthetica. v. 11. p. 121 - 130. 1977.
7. NARAYANASAMY, P. and RAMAKRISHMAN, K. Studies on sterility disease of pigeon pea. II. Carbohydrate metabolism of infected plants, Proc. Indian Academy Science. v. 62. p. 130 -39. 1965.
8. OWEN, P. C. The effect with tobacco etch virus on rates of respiration and photosynthesis of tobacco leaves. Annals of Applied Biology. v. 45. p. 327-331, 456 -461. 1957.
9. PEREIRA, J. F. Fisiología de la yuca. Jusepin, Venezuela, Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, 1977. 132 p.
10. PINEDA, B. y LOZANO, J. C. Investigaciones sobre la enfermedad de Cuero de Sapo en yuca *Manihot esculenta* Grantz, Seminario Interno CIAT, Mayo 22, 1981. 13 p. (Serie SE-8-81).