

Efectos del Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar Raza B en el Sorgo. II. Aspectos Metabólicos¹

F. Leopardi,* D. Pérez de Acosta*

ABSTRACT

Plants of sorghum hybrid Chaguaramas III were infected with sugar cane mosaic virus (race virus), so as to determine the effects of a viral infection on carbohydrate concentration by compartment, the chlorophyll concentration in the leaves, and the total N concentration in the mature seeds. Results indicated that the SCMV did affect certain physiological aspects of the sorghum plants. Concentration of chlorophyll was less in the infected plants, and both chlorophyll a and b were affected equally. The concentration of soluble carbohydrates was significantly greater in infected plants during the first 30 days after infection. Sorghum grain quality (concentration of carbohydrates and N) was not affected by the virus.

RESUMEN

Se infectaron plantas de sorgo híbrido Chaguaramas III con el virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV-raza B), con el fin de determinar los posibles efectos de la infección viral sobre la concentración de carbohidratos por compartimiento, la concentración de clorofila en las hojas y la concentración total en semillas maduras. Los resultados indicaron que el SCMV afecta algunos parámetros fisiológicos de la planta de sorgo. La concentración de clorofila en las plantas enfermas fue menor que en las sanas, afectando por igual los tipos de clorofila a y b. La concentración de carbohidratos solubles en plantas infectadas fue significativamente mayor que en las sanas, durante los primeros 30 días después de la infección. La calidad de los granos de sorgo, en cuanto a su concentración de carbohidratos y N total, no se vio afectada por la presencia del virus.

INTRODUCCION

Desde el punto de vista fisiológico, una infección viral en forma sistémica puede disminuir la concentración de clorofila en la mayoría de los casos (3, 7, 14, 19, 27, 31). Sin embargo se ha informado acerca de incrementos en la concentración de clorofila en el caso de cítricos infectados con el virus de la tristeza (6). La disminución de clorofila parece relacionarse con la destrucción de los cloroplastos en plantas infectadas con virus (3, 5). También se ha observado el decrecimiento de la fijación de CO₂ y, consecuentemente, el de la tasa fotosintética en plantas con infección viral (14, 29).

Por otra parte, la infección viral puede provocar un incremento en la concentración de azúcares en las hojas de las plantas enfermas (6, 13), posiblemente por la translocación de los fotosintetatos en el resto de la planta (16, 19). Otros autores señalan que el efecto del virus se ejerce sobre el metabolismo de los carbohidra-

tos, que disminuye la actividad de algunas enzimas involucradas en la síntesis de azúcares (7, 8, 9, 10, 26).

En relación con el contenido de proteínas, Sasikumar (28) encontró el aumento de la concentración de N proteico en plantas de tomate infectadas con "leaf crinkle virus" (LCV). Sus observaciones sugieren que la síntesis de proteínas virales se realizan a partir del N no proteico. También en tomate, infectado con "yellow mosaic virus" (YMV), Leal y Lastra (19) encontraron que la concentración de proteínas solubles disminuía. Asimismo, en plantas infectadas con virus, se ha señalado la presencia de ácido ribonucleico viral (ARN), de proteínas constituyentes del cáspide y de enzimas que forman inclusiones virales. En el caso de SCMV, se determinaron, en el microscopio electrónico, inclusiones celulares del tipo molinete (*pinwheel*) (11, 23, 26).

Los efectos del SCMV en el crecimiento de plantas de sorgo y en la producción del cultivo han sido señalados por Ordosgoitti y Viera (22) y Mena *et al.* (20). Sin embargo es poco lo que se conoce acerca de los efectos por la infección del SCMV en la planta de sorgo a nivel fisiológico; por eso, en este trabajo, se determinaron las concentraciones de clorofila en hojas, de carbohidratos en los diferentes compartimientos de la planta y de N

¹ Recibido para publicación el 7 de diciembre de 1990.

* Universidad Simón Bolívar, Departamento de Biología de Organismos, Apartado Postal 89000, Caracas, Ven.

total en semillas maduras, a través del ciclo de vida de *Sorghum bicolor* infectado con SCMV-raza B, y compararon esas cantidades con los mismos parámetros determinados en plantas sanas y desarrolladas en idénticas condiciones.

MATERIALES Y METODOS

El virus del mosaico de la caña de azúcar, SCMV-raza B, presente en sorgo variedad TAM 428, fue reconcentrado en plantas de sorgo variedades Río, Atlas y Chaguaramas III.

El inóculo se preparó al macerar las hojas de sorgo con tampón de fosfato en proporción 1 ml:1 g, filtrando el macerado y agregando carborundum 600 mesh. Con esa preparación, se inocularon 300 plantas de sorgo variedad Chaguaramas III, de siete días de edad, las cuales se mantuvieron protegidas del ataque de insectos lo mismo que las 150 plantas utilizadas como control. Las cosechas se realizaron cada 10 días, tomando cinco plantas sanas y cinco enfermas mediante una tabla de números al azar. Las plantas fueron separadas por compartimientos en hojas, tallo, raíz y espiga.

Determinación de clorofila

La hoja utilizada para la extracción de clorofila fue escogida mediante el uso de una curva de concentración de clorofila por hojas de la planta, establecida en un ensayo preliminar, del que resultó con mayor concentración la tercera hoja, tomando como primera hoja la más joven. Se tomaron cinco discos de la misma hoja en cada planta, con un total de cinco plantas por tratamiento. Una vez pesados, los discos fueron macerados con acetona 80% y se les aplicó el procedimiento descrito por Bruinsma (4) para la determinación de clorofila a, clorofila b y clorofila total.

Determinación de carbohidratos

La determinación de los carbohidratos se efectuó en hojas, tallo, raíz y espiga, en cinco plantas por tratamiento, siguiendo el método descrito por McReady *et al.* (17). El material vegetal seco se maceró en etanol al 80%, obteniéndose el extracto alcohólico, en el cual se determinó la concentración de azúcares solubles. Al

residuo se le añadieron 0.65 ml de ácido perclórico al 52%; así se consiguió el extracto ácido para la evaluación de almidón.

Determinación de nitrógeno

De cada uno de los grupos de plantas, se tomaron cinco espigas maduras. Para la obtención del extracto ácido se siguió el método de Adler y Wilcox (2). La determinación de N total se realizó según la metodología descrita por Nelson (21).

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados por medio de un análisis no paramétrico, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con una confiabilidad de 95% (PL 0.05) en la comparación entre cosechas y entre tratamientos.

RESULTADOS

En la Fig. 1a. pueden observarse las partículas virales del SCMV-raza B en una planta joven de sorgo. En tejidos infectados se encontraron también inclusiones celulares tipo molinete (Fig. 1b.).



Fig. 1. a) Partículas virales del SCMV-B en células de hojas jóvenes de sorgo; b) Inclusión citoplasmática del tipo "pinwheel" en tejido de sorgo infectado con SCMV-B.

Clorofila

En las plantas sanas, la concentración de clorofila a, clorofila b, clorofila total, y la relación a/b no presentaron diferencias significativas (PL 0.05) entre las cosechas durante todo el período de duración del ensayo, manteniéndose relativamente constante durante el ciclo de vida de las plantas (Figs. 2, 3, 4). Por el contrario, en las plantas enfermas las diferencias entre cosechas fueron significativas en lo que respecta a la concentración de clorofila a y b, y a la relación a/b.

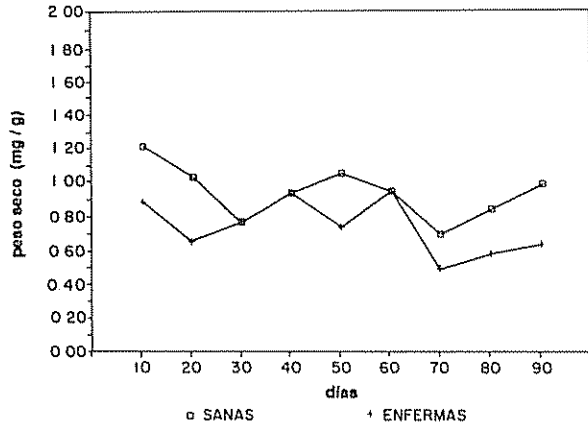


Fig. 2. Contenido de clorofila total en hojas de plantas sanas y enfermas durante el ciclo de cultivo.

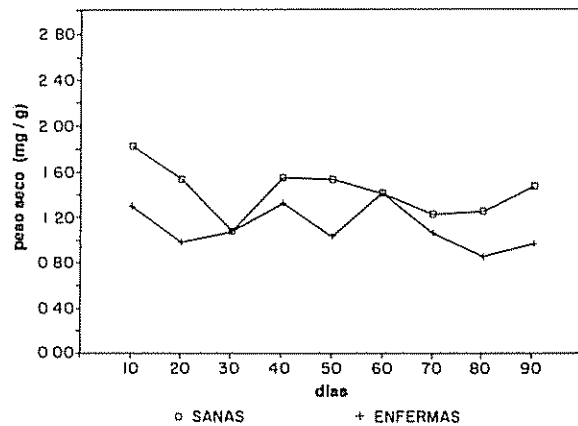


Fig. 3. Contenido de clorofila a en hojas de plantas sanas y enfermas.

La comparación estadística entre tratamientos (PL 0.05) indicó diferencias significativas entre plantas sanas y enfermas, en cuanto a la clorofila a, b y total, 20 d después de la siembra fue mayor en las plantas sanas. La concentración de clorofila b en las hojas presentó un patrón muy similar en ambos tratamientos (Fig. 4). La relación a/b no mostró diferencias significativas entre plantas sanas y enfermas.

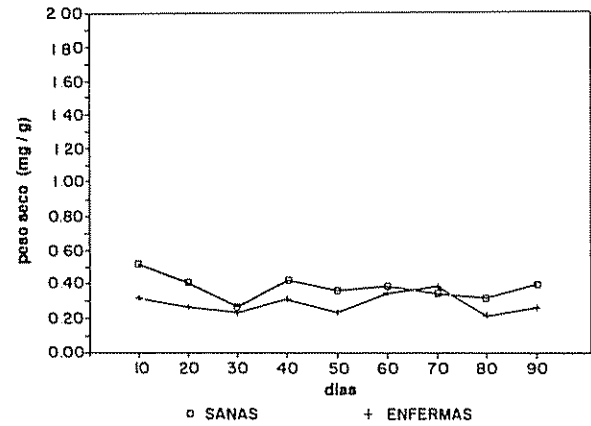


Fig. 4. Contenido de clorofila b en hojas de plantas sanas y enfermas.

Nitrógeno total

No se observó una diferencia significativa entre los tratamientos respecto de la concentración de N total en las espigas maduras de plantas sanas y enfermas. El porcentaje de N total en la semilla fue de 1.27 ± 0.11 en plantas sanas y 1.23 ± 0.12 en plantas enfermas.

Carbohidratos

Tanto en las hojas como en el tallo de las plantas enfermas, el porcentaje de azúcares solubles fue mayor que en las plantas sanas, hasta 30 d después de sembradas (Figs. 5 y 6). En el tallo de las plantas sanas, la máxima concentración de azúcares solubles se presentó 10 d antes de la floración (Fig. 6).

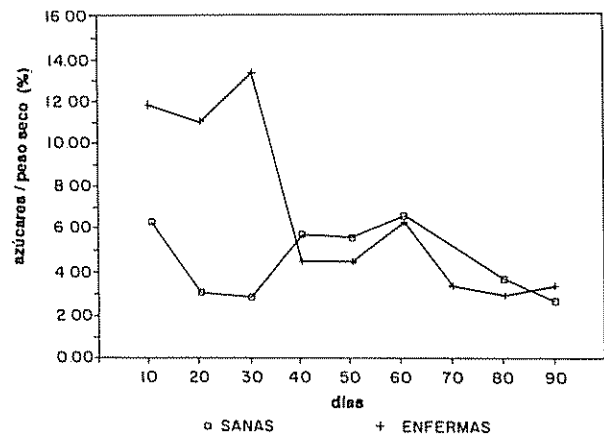


Fig. 5. Porcentaje de concentración de azúcares solubles en hojas de plantas sanas y enfermas

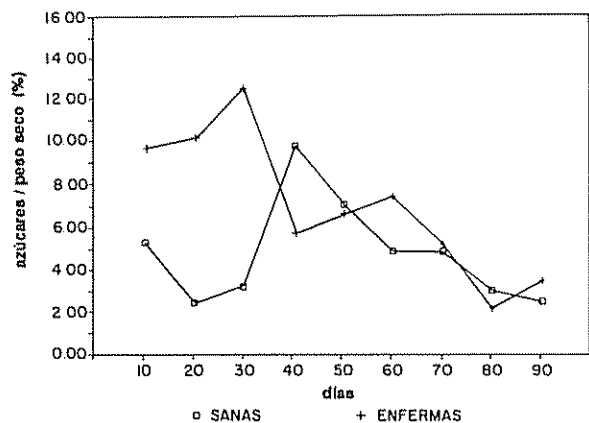


Fig. 6. Porcentaje de concentración de azúcares solubles en tallo de plantas sanas y enfermas.

El porcentaje de almidón en las hojas de las plantas enfermas (Fig. 7) fue mayor que en las sanas durante los primeros 20 d del ciclo de cultivo; en las hojas de plantas sanas (Fig. 6) y en el tallo de las enfermas (Fig. 8), la máxima concentración de almidón se observó 10 d antes de la floración.

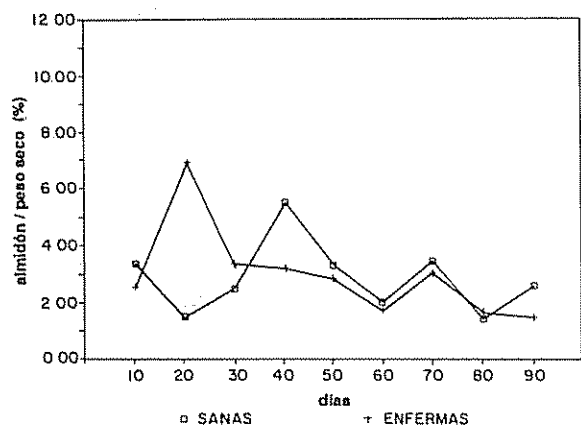


Fig. 7. Porcentaje de concentración de almidón en hojas de plantas sanas y enfermas.

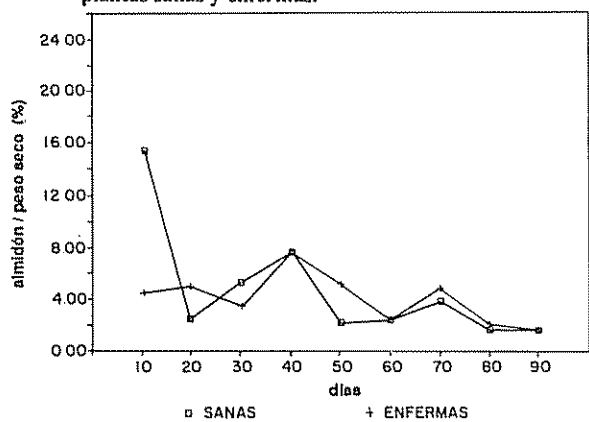


Fig. 8. Porcentaje de concentración de almidón en tallo de plantas sanas y enfermas.

En las raíces de plantas enfermas, el porcentaje de azúcares solubles fue significativamente mayor que en las sanas durante los primeros 30 d después de la siembra (Fig. 9), pero el porcentaje de almidón se mantuvo prácticamente constante durante todo el ciclo de cultivo (Fig. 10).

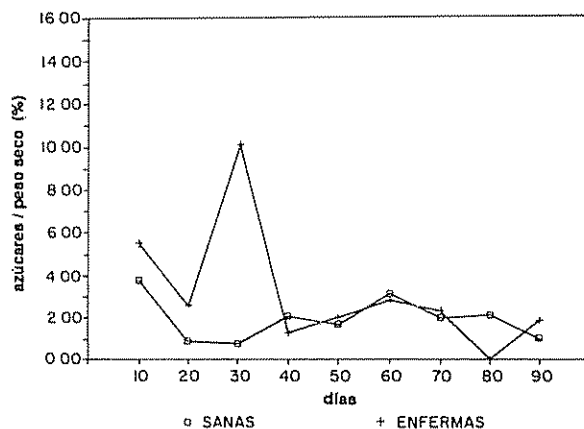


Fig. 9. Porcentaje de concentración de azúcares solubles en raíces de plantas sanas y enfermas.

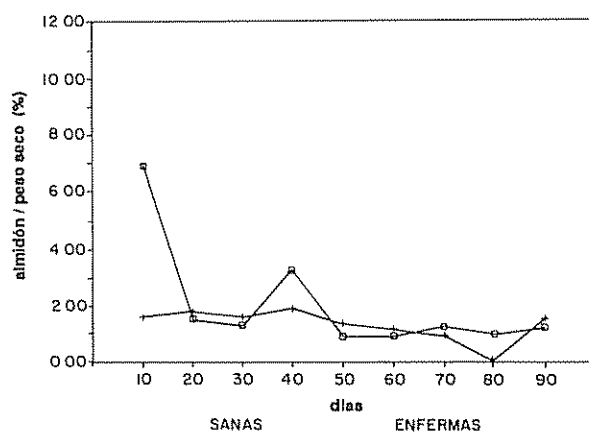


Fig. 10. Porcentaje de concentración de almidón en raíces de plantas sanas y enfermas.

En las espigas de ambos grupos de plantas, la concentración de azúcares solubles fue elevada al inicio de la floración (Fig. 11), alcanzando el máximo valor 10 d después de la misma. La concentración de almidón en las espigas aumentó progresivamente en el período de floración y maduración de los granos en ambos grupos (Fig. 12), alcanzando su máximo durante la cosecha final. No hubo diferencias significativas (PL 0.05) en la concentración de almidón de las espigas de plantas enfermas respecto de las sanas.

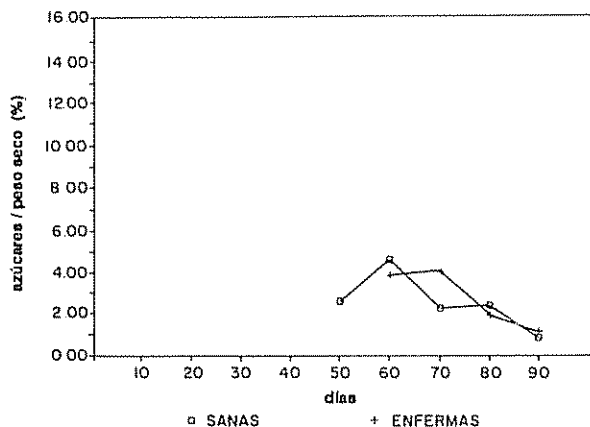


Fig. 11. Porcentaje de concentración de azúcares solubles en espigas de plantas sanas y enfermas.

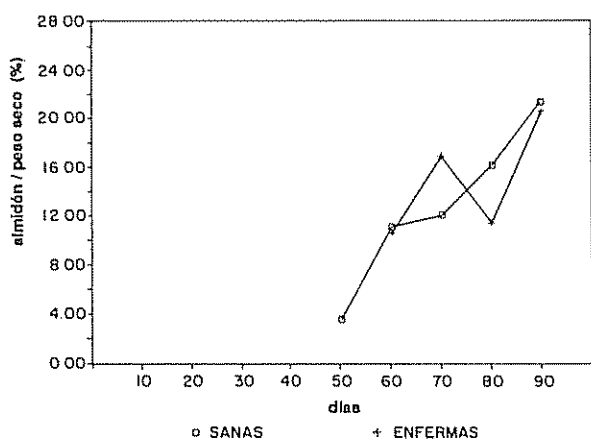


Fig. 12. Porcentaje de concentración de almidón en espigas de plantas sanas y enfermas.

DISCUSION

Las inclusiones virales determinadas en este estudio corresponden con las señaladas por Ordosgoiti (23) para el SCMV raza B, y por Giorda y Toler (11) para la raza H.

La disminución de la concentración de clorofila observada en ciertas plantas, por efecto de una infección viral, puede estar acompañada por un aumento de la actividad de la clorofila-oxidasa (24) o ser consecuencia de la degradación enzimática de la clorofila (12). En el sorgo infectado con SCMV-raza B también afectaría la concentración de clorofila a y b, pues la relación a/b, de acuerdo con el estudio, no varió de las plantas de sorgo enfermas a las sanas, tal y como sucede con el tomate infectado con YMV (19) y otros cultivos. En cambio, en la caña de azúcar infectada con

SCMV, la clorofila b se ve más afectada por la infección viral que la a, por lo que en esas plantas aumenta la relación a/b (1, 7).

La disminución de la concentración de clorofila en las plantas infectadas con virus se ha relacionado también con una disminución de la tasa fotosintética, que puede afectar el crecimiento de las plantas (14, 29). No obstante, en cebada se ha señalado que la tasa fotosintética por unidad de clorofila es mayor en plantas infectadas con virus BYDV que en plantas sanas (16). En plantas de caña de azúcar infectadas con SCMV, se ha observado una mayor incorporación de CO_2 en relación con la cantidad de clorofila presente en comparación con las plantas sanas (7). Se indican casos como el tabaco infectado con TMV, donde la tasa de fijación de CO_2 disminuye entre 30% y 35% en comparación con las plantas sanas, sin una disminución significativa de la concentración de clorofila en las hojas enfermas, por una deficiencia del aparato fotosintético (13). Durante este trabajo se observó una disminución de la concentración de clorofila en plantas enfermas en algunos períodos del ciclo de vida de la planta, pero también es posible una disminución de la tasa fotosintética por la desorganización de los cloroplastos, como lo ha sugerido Jensen (15).

Las alteraciones del metabolismo de los carbohidratos, en las plantas infectadas con virus, han sido reportadas por otros autores en diferentes cultivos. Jensen (15) encontró en la cebada infectada con BYDV una acumulación de carbohidratos en la hoja, situación que podría inhibir la fotosíntesis. El mismo autor sugirió la posible existencia de un mecanismo en las plantas infectadas con virus, mediante el cual la translocación de asimilados sería inversamente proporcional a la distancia entre los compartimientos, por lo que la acumulación de fotosintetatos sería mayor en las hojas de plantas enfermas (15). Eso no concuerda con lo observado en el sorgo infectado con SCMV, donde la acumulación de azúcares solubles en el compartimiento foliar coincidió con una aglomeración similar en el compartimiento radical.

En otros cultivos se ha reportado el aumento de la concentración de carbohidratos como producto de una infección viral; en el tabaco infectado con TEV se observó una acumulación de sacarosa, una disminución de la síntesis y un aumento de la degradación de este carbohidrato a azúcares sencillos, lo que incrementó, finalmente, la concentración de glucosa y fructosa (13).

En hojas de tomate infectado con TMV se ha hallado un aumento en la concentración de carbohidratos, que podría ser producto de un efecto del virus sobre la translocación, pues el patógeno se aloja en el floema de la planta (18, 19). En el sorgo infectado con SCMV parece que no existe un efecto del virus sobre la translocación, pues la acumulación de carbohidratos en las hojas se acompañó de un incremento de los mismos en el tallo. La concentración de almidón en las hojas de sorgo infectado con SCMV fue elevada, debido probablemente a la gran acumulación del carbohidrato en los cloroplastos afectados por la infección viral, tal como lo señalan Carrol y Kosuge (15) en tabaco infectado con TMV, y Pisi *et al.* (25) en *Chenopodium amaranticolor* con CMV.

En semillas de sorgo, según Subramanian *et al.* (30), la concentración de azúcares solubles disminuye durante la maduración de las espigas con el aumento de la concentración de almidón; así ocurrió en este trabajo, sin diferencias significativas entre plantas infectadas y sanas. Por otra parte, la concentración de N total en las semillas de sorgo, sano o infectado por el SCMV, no mostró diferencias significativas que pudieran vincularse con la presencia del virus, por lo que la calidad de los granos de sorgo infectado con el SCMV-raza B fue semejante a la de las plantas sanas.

LITERATURA CITADA

1. ABD-EL-NASSER, A.; SELLAM, M.A.; ABD-EL-BAZIK, A.; RUSHDI, M. 1981. Effects of strain D of sugarcane mosaic virus and its variants on sugarcane and maize plants. *Anz Schädlingsskd Pflanzen Umweltschutz* 54(9):135-138.
2. ADLER, P.R.; WILCOX, G.E. 1985. Rapid perchloric acid digestion method for analysis of major elements in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 16(11):1153-1163.
3. AYANDRU, D.K.; SHARMA, V.C. 1982. Effects of cassava mosaic disease on certain leaf parameters of field-grown cassava clones. *Phytopathology* 72(8):1057-1059.
4. BRUINSMA, J. 1963. The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. In *Photochemistry and Photobiology Chlorophyll Metabolism Symposium*. Pergamon Press LTD, GB. v. 2, p. 241-249.
5. CARROL, T.W.; KOSUGE, I. 1969. Changes in structure of chloroplasts accompanying necrosis of tobacco leaves systemically infected with tobacco mosaic virus. *Phytopathology* 59:953-962.
6. CHEEMA, S.; KAPUR, S.P.; CHOHAN, J.S. 1981. Some metabolic changes induced in kagzillime by tristeza infection. *Indian Phytopathology* 34(4):438-441.
7. CHORPADE, L.N.; JOSH, G.V. 1980. Studies in photosynthesis in sugarcane, var. CO 740 infected by TMV. *Indian Phytopathology* 33(1):33-37.
8. DIENER, T.O. 1963. Physiology of virus-infected plants. *Annual Review Phytopathology* 1:197-218.
9. FLIEGE, R.; FLÜGGE, I.V.; WERDAN, K.; HEIDT, H.W. 1978. Specific transport of inorganic phosphate, 3-phosphoglycerate and triosephosphates across the inner membrane of the envelope in spinach chloroplasts. *Biochemistry and Biophysics Acta* 502:232-247.
10. FLÜGGE, I.V.; FREISL, M.; HEIDT, W. 1980. Balance between metabolite accumulation and transport in relation to photosynthesis by isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiology* 65:574-577.
11. GIORDA, L.M.; TOLER, R.W. 1986. Identification of sugarcane mosaic virus strain H isolate in commercial grain sorghum. *Plant Disease Report* 70:624-628.
12. GOODMAN, R.N.; KIRALY, E.; ZAILTLIN, M. 1967. The biochemistry and physiology of infectious plant diseases. N.J.D. Van Nostrand Co., Princeton. p. 354.
13. HOPKINS, D.; HAMPTON, R.E. 1969. Effects of tobacco etch virus infection upon the dark reactions of photosynthesis in tobacco leaf tissues. *Phytopathology* 59:1136-1140.
14. IRVINE, J.E. 1971. Photosynthesis in sugarcane varieties infected with strains of sugarcane mosaic virus. *Physiologie Plantarum* 24:51-54.
15. JENSEN, S.G. 1968. Photosynthesis, respiration and other physiological relationships in barley infected, with Barley Yellow Dwarf Virus. *Phytopathology* 58:204-208.
16. JENSEN, S.G. 1971. Metabolism and carbohydrate composition in Barly Yellow Dwarf Virus infected wheat. *Phytopathology* 62:587-596.
17. McREADY, R.M.; GUGCOLZ, J.; SILVEIRA, V.; WENS, H.S. 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry* 22(9):1156-1158.
18. LASTA, R.; GIL, F. 1981. Ultrastructural host cell changes associated with tomato yellow mosaic. *Phytopathology* 71:524-528.
19. LEAL, N.; LASTRA, R. 1984. Altered metabolism of tomato plants infected with tomato yellow virus. *Physiological Plant Pathology* 24:1-7.
20. MENA, H.; MANZANO, A.; ORDOSGOITTI, A. 1980. Reacción decultivares comerciales de sorgo al virus del mosaico de la caña de azúcar. *Revista del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ven.) Serie A no. 1*.
21. NELSON, D.W. 1983. Determination of ammonium in KCl extracts of soils by the salicylate method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 14(11):1051-1052.
22. ORDOSGOITTI, A.; VIERA, J. 1973. Una nueva enfermedad viral en maíz y sorgo en la zona central de Venezuela. *Dinámica Empresarial* 2(9):12-13.
23. ORDOSGOITTI, A. 1984. Algunas consideraciones sobre el mosaico de la caña de azúcar y su presencia en siembras de

- maíz y sorgo en Venezuela. In *Jornadas Agronómicas* (11.) Memorias. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay p. 9.
24. PETERSON, P.D.; MCKINNEY, H.H. 1983. The influence of four mosaic diseases on the plastid pigments and chlorophyllase in tobacco leaves. *Phytopathology* 28:329-342.
25. PISI, A.; MARANI, F.; BERTACCINI, A. 1982. Intracellular inclusions in host plants infected with cymbidium mosaic virus. *Phytopathology* 21:27-30.
26. PREISS, J.; KOSUGE, T. 1976. Regulation of enzyme activity in metabolic pathways. In *Plant Biochemistry*. 3a ed., London, Academic Press. p. 227-336.
27. ROBERTS, P.L.; WOOD, K.L. 1982. Effect of a severe (p6) and a mild (w) strain of cucumber mosaic virus on tobacco leaf chlorophyll, starch and cell ultrastructure. *Physiological Plant Pathology* 21:31-37.
28. SASIKUMARAN, S.; KANDASWAMY, T.K.; VIDHYASEKARAN, P. 1979. Physiology of tomato plants affected by leaf curl virus. *Indian Pathology* 32:352-359.
29. SHARMA, O.P.; KHATRI, K.L.; BANSAL, R.D. 1981. Cucumber mosaic virus and/or *Sphaerotheca fuliginea* (Sch.) Poll. as affecting the dry weight, moisture, chlorophyll and carbohydrate content of *Cucumis melo* L. *Phytopathology* 20:133-135.
30. SUBRAMANIAN, V.; JAMBUNATHAN, R.; SEETHARAMA, N. 1983. Biochemical changes during seed development in sorghum (*Sorghum bicolor*). *Phytochemistry* 22(5):1097-1101.
31. TU, J.C.; FORD, E. 1968. Effect of maize dwarf mosaic virus infection on respiration and photosynthesis of corn. *Phytopathology* 58:282-284.

ANDERSON, R.C. 1992. Nematode parasites of vertebrates: Their development and transmission. U.K., C.A.B. International. 578 p.

This book contains information on six orders, 27 superfamilies, 69 families, 58 subfamilies, and 561 species of nematodes parasitic on humans and domestic and wild animals. The introduction deals with development and the strategies used by nematodes to increase and improve the possibilities for successful parasitism, as well as strategies used for transmission. The following chapters are organized in two parts. Part I (six chapters) deals with "Subclass Secernentea;" this taxon includes the vast majority of the nematode parasites of vertebrates, which belong to the orders Rhabdithida, Strongylida, Oxyurida, Ascaridida, and Spirurida. Part II (one chapter) refers to the "Subclass Adenophorea," with the single order, Enoplida. Each chapter covers a

single order, except Spirurida, whose suborders Camallanina and Spirurina are treated separately; in each case the superfamilies and families comprising each order are covered in a detailed, extensive account, each with its own list of references. A total of 33 figures illustrate this book, mostly high-quality drawings of nematodes and diagrams of their development and transmission on hosts, which concludes with an index.

The vast amount of information included, its quality and diversity, the depth in which many cases are covered, as well as the unified overview of development, life cycles and transmission, all make this book an extremely useful source of knowledge for people dealing with nematode parasites.

RÓGER LÓPEZ CH.
LABORATORIO DE NEMATOLOGÍA
CIPROC, ESCUELA DE FITOTECNIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA