

CIAT

SB

327

P79e

1980

C-1

126229

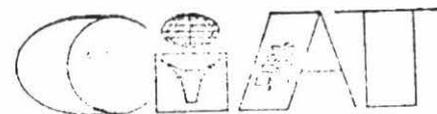
Problemas de Producción del Fríjol

Enfermedades, Insectos, Limitaciones
Edáficas y Climáticas de *Phaseolus vulgaris*

Editado por
Howard F. Schwartz y Guillermo E. Gálvez

Editor de Producción
Stellia Sardi de Salcedo

Traducido por
Jorge I. Victoria



BIBLIOTECA

14 ABR. 1980

47823

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

12622

Capítulo 18
Problemas Misceláneos

H.F. Schwartz

	Página
Introducción.....	329
Problemas Bióticos.....	329
Problemas Climáticos y Físicos	
Humedad.....	330
Temperatura.....	331
Escaldadura Ocasionada por el Sol	332
Viento	333
Daños Físicos.....	333
Problemas Fisiológicos y Genéticos	334
Problemas Químicos	
Toxicidades.....	335
Contaminación del Aire	336
Literatura Citada	339

Capítulo 18

Problemas Misceláneos

Introducción

Son muchos los factores, además de los organismos fitopatógenos, insectos, nemátodos y desórdenes nutricionales, que pueden afectar severamente el frijol durante su ciclo de crecimiento. Las plantas parásitas, tales como la cúscuta pueden atacar cultivos de frijol y reducir sus rendimientos. Igualmente diversas condiciones ambientales incluyendo las heladas, las temperaturas altas, el viento y la sequía pueden ocasionar daños en las plántulas y plantas adultas de frijol. Las variaciones en las propiedades y el drenaje del suelo pueden producir diferencias acentuadas en la apariencia y vigor de las plantas en zonas específicas dentro de un mismo terreno. Las anormalidades genéticas y fisiológicas pueden ocasionar cambios notorios o tenues en el desarrollo de las plantas. Las aplicaciones inapropiadas de pesticidas y fertilizantes y los contaminantes tóxicos del aire pueden producir daños químicos.

Algunas veces los síntomas producidos por estos factores se confunden con aquellos ocasionados por otros problemas descritos en diversas partes de este libro. Para poder identificar correctamente el agente causal se requiere una historia completa de todos los factores anteriores y presentes que inciden en la producción de frijol en una región específica. En este capítulo se describirán someramente algunos problemas que pueden ocurrir en cultivos de frijol común en América Latina y en otras partes del mundo.

Problemas Bióticos

Las plantas parásitas (e.g., la cúscuta) pueden causar daños en los cultivos, incluyendo el frijol común (17, 18, 20, 21). *Cassutha filiformis* es un parásito del frijol bajo condiciones controladas (20), y *Cuscuta epithimum* (cúscuta trébol), un parásito generalizado de las leguminosas (21). La cúscuta produce una enredadera delgada, casi sin hojas (Fig. 1), de color blanco, amarillo, naranja o rojo púrpura. Cuando una de sus ramas entra en contacto con el tejido del hospedante, por ejemplo una planta de frijol, se envuelve alrededor del órgano de la planta y desarrolla haustorios o chupones, por medio de los cuales absorbe los nutrimentos de la planta de frijol. Las ramas de la cúscuta se pueden extender de planta en planta y disminuir significativamente los rendimientos (18). Los animales, el hombre, los implementos agrícolas y el riego por gravedad son posibles



Fig. 1 - Parasitismo de la papa producido por la cúscuta.

medios de diseminación de ramas y semillas de cúscuta. La eliminación de la cúscuta antes de que produzca semillas, la quema de los residuos para destruir las semillas, y la rotación con cultivos resistentes como los cereales, la soya, o el caupí son algunas medidas de control (17, 21).

También se han observado algas en muchas plantas tropicales, pero no se tienen informes de que causen daño al frijol.

Problemas Climáticos y Físicos

El frijol se cultiva bajo un sinnúmero de condiciones ambientales, pero ciertas variedades se adaptan mejor a condiciones de crecimiento específicas de algunas áreas de producción. Sin embargo, las variedades que se encuentran bien adaptadas a una región pueden sufrir daños cuando se presentan cambios extremos o variaciones en uno o varios de los factores ambientales durante su ciclo de crecimiento.

Humedad

Las condiciones extremas de exceso o falta de humedad, influyen en los procesos fisiológicos, en el desarrollo de la planta y en la susceptibilidad a los organismos fitopatógenos. Un bajo contenido de humedad en el suelo puede ocasionar daños en las plantas, debido a la falta de agua para las raíces, la acumulación de iones tóxicos tales como magnesio y boro, el cierre de los estomas, la menor absorción de CO_2 , y el marchitamiento temporal o permanente de la planta (13).

La alta humedad del suelo y las inundaciones pueden lixiviar nutrientes esenciales para el desarrollo normal de la planta, disminuir el contenido de oxígeno, inducir clorosis general en la planta, y aumentar los niveles de subproductos tóxicos resultantes del metabolismo anaerobio.

Cuando a este factor se suma una temperatura alta, la tasa de respiración puede aumentar (13, 18, 25).

La humedad del suelo o la humedad relativa altas pueden inducir intumescencia en las variedades con abundante follaje cuyas vainas no están expuestas directamente al sol. Como consecuencia pueden aparecer manchas protuberantes de color verde oscuro en las hojas o vainas que se forman al alargarse y multiplicarse las células; estas manchas pueden abrirse (edema), cuando persisten las condiciones de alta humedad (25).

El impacto de las gotas grandes de agua durante las tempestades puede causar daños de consideración en las hojas incluyendo marchitamiento o defoliación (14). El granizo y los rayos pueden inducir raquitismo en las plantas, causar heridas a través de las cuales los agentes secundarios infectan las plantas, o matarlas (14, 18).

Temperatura

Los cambios repentinos en las temperaturas del suelo y del aire influyen en la habilidad de las plantas de frijol para absorber la humedad del suelo. Las temperaturas bajas pueden producir daños por enfriamiento o por heladas (Fig. 2), que se manifiestan en forma de áreas acuosas oscuras en hojas o plantas marchitas, u ocasionar un desarrollo raquíptico general de la planta, en caso de que estas temperaturas bajas persistan por períodos prolongados. Las temperaturas altas pueden inducir el aborto de las flores (21), aumentar la tasa de evapotranspiración y ocasionar el marchitamiento de la planta si hay un suministro insuficiente de humedad en el suelo o las raíces no están suficientemente bien desarrolladas. Las temperaturas altas y los vientos junto con la baja humedad del suelo aumentan las condiciones



Fig. 2 - Daño causado por las heladas a frijol voluble cultivado en asociación con maíz.

desfavorables para las plantas, por cuanto contribuyen a que el suelo se compacte, se cuartee y finalmente produzca daño en las raíces (13). Cuando la capa superficial del suelo está muy caliente las plántulas pueden desarrollar lesiones basales a nivel del terreno (13, 18, 21, 25).

Escaldadura Ocasionada por el Sol

Durante los períodos de gran intensidad solar (longitud de honda de luz ultravioleta) las hojas, tallos, ramas y vainas de plantas de frijol pueden presentar escaldaduras especialmente después de períodos de alta humedad y nubosidad (18, 25). Las temperaturas altas también pueden producir escaldaduras (18). Los síntomas aparecen como pequeñas manchas acuosas en los lados expuestos de la planta, las cuales se vuelven rojizas o cafés, pueden unirse y formar grandes lesiones necróticas o decoloradas en las estructuras afectadas de la planta (Fig. 3). Estos síntomas son similares a los ocasionados por el ácaro tropical y los contaminantes del aire.

La intensidad, calidad y duración de la luz (fotoperíodo) también influyen en el desarrollo del frijol. La poca luz puede ocasionar ahilamiento, caracterizado por un crecimiento suculto de las plantas y alargamiento de los entrenudos, y con frecuencia disminución en el contenido de clorofila y producción de flores (13, 18). Las variedades sensibles al fotoperíodo no florecen normalmente, y a menudo producen pocas vainas al final de la estación de crecimiento sobre todo cuando han sido sembradas a grandes altitudes. Las plantas generalmente lucen sanas y verdes a menos que las temperaturas bajas produzcan anomalías (comunicación personal, Dr. D. R. Laing, fisiólogo de frijol del CIAT). La alta intensidad lumínica puede escaldar o quemar las hojas y vainas, producir aborto de flores y vainas, y aumentar el daño ocasionado por las aplicaciones de productos químicos o contaminantes del aire y especialmente el causado por contaminantes fotoquímicos (13, 25).

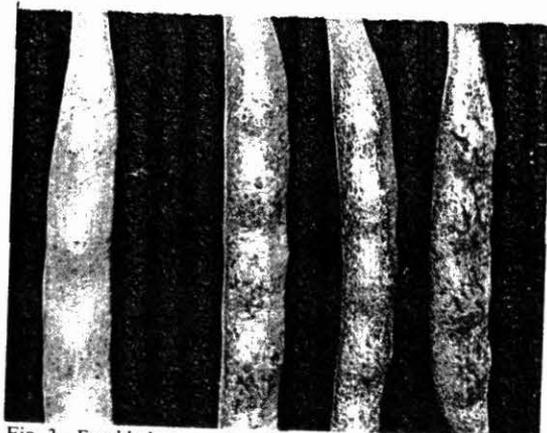


Fig. 3 - Escaldadura ocasionada por el sol en vainas de frijol.

Viento

La velocidad y dirección del viento pueden afectar el desarrollo de la planta. Los vientos consistentes pueden aumentar las tasas de evapotranspiración y agravar el estrés de la planta por falta de humedad (13). Los movimientos violentos de la planta generalmente ocasionan daños en las raíces y la hacen susceptible a problemas posteriores como pudriciones en las raíces, rompimiento de tallos y ramas, y volcamiento de las plantas, especialmente si el contenido de humedad del suelo es alto (13).

El frijol también puede ser afectado por la acción abrasiva del viento y de las partículas de suelo portadas por el aire (2, 25). Se registraron pérdidas en rendimiento del 8% cuando las plántulas sufrieron daño en las hojas (Fig. 4), y del 14% cuando las plantas en floración sufrieron la pérdida de yemas y flores, después de una exposición al viento (15,5 m/seg) durante 20 minutos en el campo (2).



Fig. 4 - Daño en la hoja primaria producido por el viento y las partículas de suelo portadas por el aire.

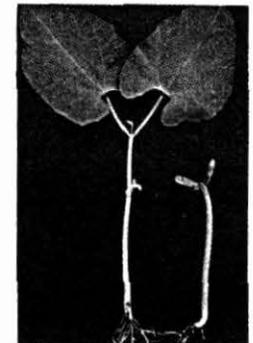


Fig. 5 - Síntomas debidos al daño físico del punto de crecimiento de la semilla.

Daños Físicos

Los daños físicos a las plantas de frijol ocurren durante las labores de labranza, aplicación de pesticidas, o preparación de los surcos de riego cuando éstas no se hacen con cuidado y cuando las plantas tienen un follaje abundante. Las heridas en las hojas y en otros órganos de la planta se convierten en vías de entrada para diversos organismos patógenos del frijol, especialmente bacterias.

Las semillas de frijol pueden ser dañadas mecánica o físicamente durante las labores de cosecha, trilla, procesamiento y siembra, especialmente cuando el contenido de humedad es bajo (4, 21, 25). El daño externo de la semilla consiste en resquebrajaduras de las testas y cotiledones. Los daños internos son desprendimiento de los cotiledones o heridas en el hipocótilo, radícula o epicótilo, y plúmula. Cuando el punto de crecimiento sufre daño o muere, las plántulas solamente pueden sobrevivir produciendo yemas en las axilas de los cotiledones (Fig. 5). El daño ocasionado por los insectos o el añublo bacteriano común hace que se presente un síntoma similar. Las

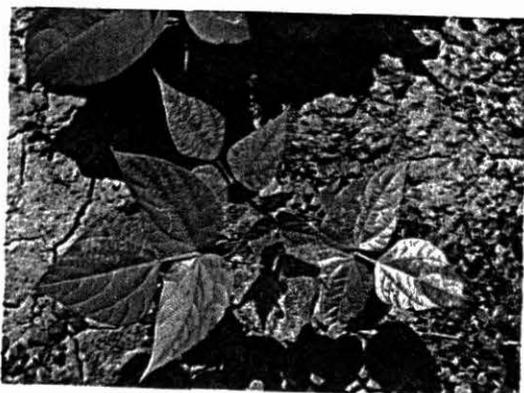


Fig. 6 - Variegaciones foliares causadas por una anomalía genética.

plántulas que sobreviven a los efectos del daño mecánico, suelen ser raquíticas y poco productivas (4, 25).

Problemas Fisiológicos y Genéticos

Ocasionalmente, el frijol presenta anomalías fisiológicas y genéticas que se pueden confundir con los síntomas producidos por los organismos fitopatógenos o los factores abióticos. Las plántulas albinas, por ejemplo, generalmente mueren a los pocos días debido a la carencia de clorofila. Las variegaciones en las hojas simulan síntomas de mosaico, por cuanto combinan tejido verde, amarillo y blanco (Fig. 6), y producen un desarrollo anormal de la planta y las vainas. Las variegaciones se pueden observar en hojas y ramas individuales o en toda la planta (21, 25). Los síntomas de pseudomosaico y clorosis generalizada de la planta se pueden heredar. Las manchas cloróticas, pequeñas (mancha amarilla), que aparecen en las hojas primarias y trifoliadas de ciertas variedades que continúan a pesar de todo desarrollándose normalmente, son una característica hereditaria (25).

Se ha registrado un marchitamiento hereditario de las plántulas que no es causado por pudriciones de las raíces, y que hace que las hojas primarias se vuelvan pálidas, bronceadas, levemente curvadas y envejecidas, hasta que finalmente la planta muere. La necrosis interna que produce manchas café necróticas en la parte plana de los cotiledones también se puede heredar (25). El crecimiento distorsionado de la planta es igualmente ocasionado por una anomalía genética.

La resquebrajadura de la testa de la semilla que sucede en ciertas variedades parece ser una característica hereditaria. Los síntomas consisten en un crecimiento desigual de los cotiledones y la testa de la semilla. Los cotiledones se extienden por fuera de la testa y toman una forma cónica y una apariencia tosca y aserrada (25). Otros factores involucrados pueden ser la humedad y la temperatura.

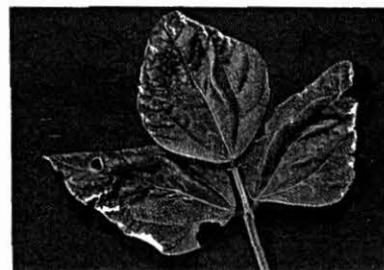


Fig. 7 - Daño por insecticidas en las hojas de frijol.



Fig. 8 - Daño causado por las partículas de paraquat diseminadas por el viento.

Problemas Químicos

Toxicidades

Los cultivos de frijol pueden sufrir daño durante todo su ciclo de crecimiento, especialmente durante la germinación y desarrollo de las plántulas, cuando los productos químicos no se aplican de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes. La aplicación de productos químicos y fertilizantes en concentraciones tóxicas a muy poca distancia de las semillas crean problemas, si estos productos no se disuelven y lixivian rápidamente a través de la rizosfera (13, 25). Los insecticidas (Fig. 7), las partículas asperjadas de paraquat (Fig. 8) y 2, 4 D (Fig. 9) portadas por el viento pueden producir síntomas necróticos o morfológicos definidos en las hojas u órganos de la planta afectados. Los productos químicos que contienen impurezas o productos metabolizados por microorganismos del suelo convertidos en subproductos tóxicos pueden ocasionar otros desórdenes fisiológicos, los que a su vez pueden ser agravados por las condiciones específicas del suelo y del medio ambiente.

El exceso o la falta de humedad del suelo, la profundidad de siembra, la compactación del suelo y el daño mecánico de la semilla pueden acentuar aún más el daño ocasionado por herbicidas y pesticidas a las raíces (22). Las raíces que han sufrido daño por productos químicos están predisuestas a posteriores infecciones y mayores pérdidas en el rendimiento debidas a pudriciones de las raíces (12, 22, 23, 24).



Fig. 9 - Daño ocasionado por las partículas de 2,4D portadas por el viento.

Capítulo 18

Contaminación del Aire

La contaminación del aire se ha convertido en un problema muy grave en muchas partes del mundo donde el frijol se cultiva cerca de pequeñas y grandes áreas industriales, las cuales expelen subproductos gaseosos producidos durante las operaciones de procesamiento. Otros subproductos gaseosos generados por los vehículos de transporte o los procesos ambientales naturales, también pueden contribuir a la contaminación del aire. Entre los contaminantes del aire que afectan el frijol están el ozono, el nitrato de peroxiacetilo (PAN), el bióxido de azufre, los fluoruros, las partículas sólidas y el cloro. Los contaminantes del aire también pueden influir en las interacciones entre el frijol y los organismos fitopatógenos.

El ozono (O_3) es un contaminante común del aire formado por las descargas eléctricas durante las tronadas, la acción de la luz solar en el oxígeno, los gases liberados por los motores de combustión y como subproducto de reacciones fotoquímicas (6). Ha ocasionado pérdidas en el rendimiento superiores al 50% en frijol común (16). El daño del ozono aparece primero en la haz de la hoja como lesiones pequeñas, húmedas o necróticas, que pueden unirse y tornarse bronceadas o café rojizas (Fig. 10), asemejándose al daño ocasionado por la escaldadura solar (6, 8, 16, 19). La senescencia prematura y defoliación de la planta pueden ocurrir, especialmente cuando las concentraciones de ozono alcanzan a 100 partes por mil millones (16). La gravedad del daño en la planta depende de la concentración del ozono, la sensibilidad de la variedad, la edad de la hoja, la luz (Fig. 11), la temperatura, la humedad y textura del suelo y la nutrición de la planta (1, 6, 16).

El nitrato de peroxiacetilo (PAN) se forma por la interacción fotoquímica entre los hidrocarburos emitidos por la combustión incompleta de productos del petróleo y óxidos del nitrógeno. El daño ocasionado por el PAN se presenta en el envés de las hojas inicialmente como una lesión acuosa, brillante o plateada (Fig. 12), que luego se torna bronceada. Estos síntomas son parecidos a los inducidos por las heladas, la escaldadura solar y diversos insectos (6), como el ácaro tropical.

El bióxido de azufre (SO_2) se forma cuando se queman combustibles petrificados y puede actuar directamente como contaminante del aire o combinarse con el agua para formar un vapor de ácido sulfúrico (6). El daño causado por el SO_2 puede ocurrir en la haz o en el envés de la hoja, donde produce áreas acuosas, de color verde oscuro mate, las cuales eventualmente se vuelven necróticas o blanquecinas (Fig. 13) (6, 8). Este daño es generalmente más severo en hojas jóvenes que en las más viejas (6), particularmente cuando la temperatura y la humedad relativa son altas (18).

Existen otros contaminantes del aire que pueden ocasionar daños en el frijol, pero que generalmente no son tan comunes como el ozono, el PAN o el SO_2 . El fluoruro de hidrógeno puede afectar la parte apical y las márgenes de las hojas jóvenes las cuales se tornan necróticas y hacen que los bordes de las hojas se enrosquen hacia abajo. El gas del cloro puede inducir manchas o lunares verde oscuros en la haz de las hojas, las cuales más tarde toman un color café o canela, parecido al del daño ocasionado por el ozono. El cloro también puede producir un blanqueamiento del área intervenal similar al daño producido por el SO_2 . El ácido clorhídrico puede

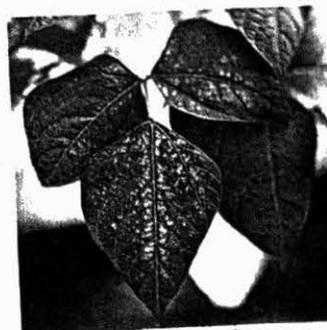


Fig. 10 - Punteado producido por el ozono (50 pphm durante 3 horas) en hojas de frijol (arriba).

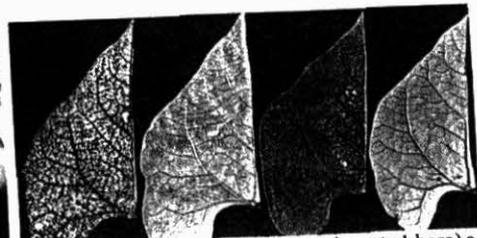


Fig. 11 - Daño por ozono (42 pphm durante 1 hora) a plantas de frijol bajo sombrío (izquierda) y al sol (derecha) a 22°C (foto superior).

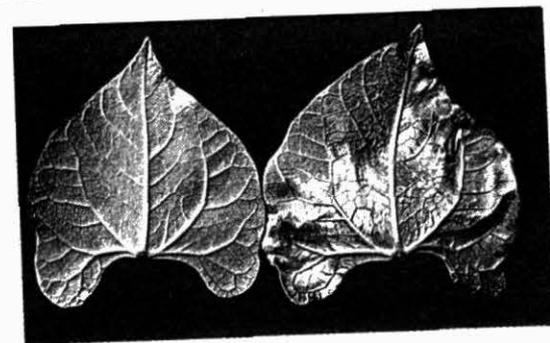


Fig. 12 - Daño producido por el nitrato de peroxiacetilo (PAN) a la planta de frijol Pinto situada a la derecha de la foto (derecha).

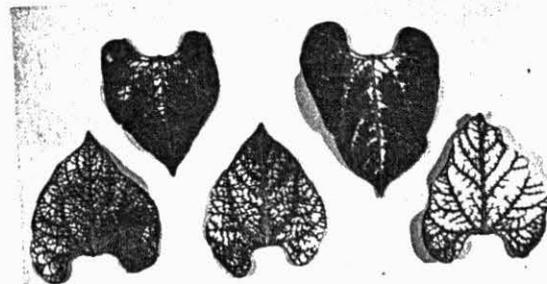


Fig. 13 - Daño causado por el bióxido de azufre (1 pphm durante 1 hora) al frijol Pinto.

causar manchas o manchitas necróticas de color café amarillento o café, rojo o casi negro, las cuales se forman en las márgenes de las hojas o en los tejidos intervenales en la haz foliar y están rodeadas por un borde color crema. El HCl también puede producir brillo en el envés de la hoja, el cual se parece mucho al daño causado por el PAN. El óxido y el bióxido de nitrógeno pueden ocasionar síntomas cloróticos o blanqueamiento de la haz foliar. Estos síntomas se pueden extender al envés y se asemejan al daño ocasionado por el SO_2 . Las lesiones necróticas inducidas por el NO_2 se pueden desprender de la hoja, dejando huecos como de perdigón (6).

Los contaminantes del aire pueden interactuar entre sí o con organismos fitopatógenos alterando el tipo o la intensidad de daño producido en el frijol. Entre el ozono y el PAN, y el ozono y el SO_2 se han observado

interacciones aditivas, sinérgicas o antagónicas, dependiendo de la concentración de cada uno de los contaminantes y de la sensibilidad de las plantas (8, 9, 10). Varios contaminantes influyen en los organismos fitopatógenos y en los síntomas producidos en plantas infectadas o expuestas a la infección (6).

La interacción con los fluoruros altera los síntomas de roya y añublo de halo. Por ejemplo, las pústulas de roya fueron más pequeñas, pero más numerosas y de lento desarrollo en presencia de fluoruros, que en testigos no expuestos e inoculados (7). La inoculación previa con el virus del mosaico común disminuyó la severidad del daño ocasionado por el ozono, cuando se expusieron posteriormente las plantas de frijol sensible a los contaminantes (5).

El daño que ocasiona el ozono al contaminar el aire se ha disminuido en varios cultivos, incluyendo el tabaco y la cebolla, mediante aplicaciones de antioxidantes (e.g., Diclono) y ditiocarbamatos (10). El daño en el frijol debido a los oxidantes se ha reducido aplicando benomil (11, 15) y N-(2-(2-oxo-1-imidazolidinilo) etilo-N¹- fenilurea o EDU (3). Otra medida de control consiste en identificar y desarrollar variedades menos sensibles a los daños producidos por los diversos contaminantes o sus interacciones.

Literatura Citada

1. Brennan, E. y A. Rhoads. 1976. Response of field-grown bean cultivars to atmospheric oxidant in New Jersey. *Plant Dis. Repr.* 60: 941-945.
2. Bubenzer, G.D. y G.G. Weis. 1974. Effect of wind erosion on production of snap beans and peas. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 527-529.
3. Carnahan, J.E., E.L. Jenner y E.K.W. Wat. 1978. Prevention of ozone injury to plants by a new protectant chemical. *Phytopathology* 68: 1225-1229.
4. Copeland, L.O. 1978. Seed quality. pp. 134-142. **En**, *Dry bean production-principles and practices*. L.S. Robertson y R.D. Frazier, eds., Michigan State Univ. Ext. Bull. E-1251.
5. Davis, D.D. y S.H. Smith. 1974. Reduction of ozone-sensitivity of Pinto bean by bean common mosaic virus. *Phytopathology* 64:383-385.
6. EPA. 1978. *Diagnosing Vegetation Injury Caused by Air Pollution*. U.S. Environmental Protection Agency, Pub. No. EPA-450/3-78-005, 255 p.
7. Heagle, A.S. 1973. Interactions between air pollutants and plant parasites. *Ann. Rev. Phytopath.* 11: 365-388.
8. Hofstra, G. y D.P. Ormrod. 1977. Ozone and sulphur dioxide interaction in white bean and soybean. *Canadian J. Plant Sci.* 57: 1193-1198.
9. Jacobson, J.S. y L.J. Colavito. 1976. The combined effect of sulfur dioxide and ozone on bean and tobacco plants. *Environ. Exp. Botany* 16: 277-285.
10. Kohut, R.J. y D.D. Davis. 1978. Response of Pinto bean to simultaneous exposure to ozone and PAN. *Phytopathology* 68: 567-569.
11. Manning, W.J., W.A. Feder y P.M. Vardaro. 1974. Suppression of oxidant injury by benomyl: effects on yields of bean cultivars in the field. *J. Environ. Qual.* 3: 1-3.
12. Mussa, A.E.A. y P.E. Russell. 1977. The influence of pesticides and herbicides on the growth and virulence of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. *J. Agr. Sci.* 88: 705-709.
13. National Academy of Sciences. 1968. *Plant-Disease Development and Control, Principles of Plant and Animal Pest Control*, Vol. 1. pp. 31-43. Subcommittee on Plant Pathogens, Committee on Plant and Animal Pests, Agricultural Board, National Research Council, Washington, D.C.
14. Natti, J.J. y F.D. Judge. 1971. Defoliation of bean seedlings by injury from rain. *Plant Dis. Repr.* 55: 457-459.
15. Pell, E.J. 1976. Influence of benomyl soil treatment on Pinto bean plants exposed to peroxyacetyl nitrate and ozone. *Phytopathology* 66: 731-733.
16. Saettler, A.W. 1978. Bean diseases and their control. pp. 172-179. **En**, *Dry bean production-principles and practices*. L.S. Robertson y R.D. Frazier, eds., Michigan State Univ. Ext. Bull. E-1251.

Capítulo 18

17. U.S.D.A. 1953. Plant Diseases, The Yearbook of Agriculture. U.S.D.A., Washington, D.C., 940 p.
18. Walker, J.C. 1969. Plant Pathology, 3rd. Ed., McGraw-Hill Book Co., N.Y., 819 p.
19. Weaver, G.M. y H.O. Jackson. 1968. Relationship between bronzing in white beans and phytotoxic levels of atmospheric ozone in Ontario. Canadian J. Plant Sci. 48: 561-568.
20. Wellman, F.L. 1972. Tropical American Plant Disease (Neotropical Phytopathology Problems). The Scarecrow Press, Inc., Metuchen, N.J., 989 p.
21. Westcott, C. 1971. Plant Disease Handbook, 3rd. Ed. Van Nostrand Reinhold Company, N.Y., 843 p.
22. Wyse, D.L., W.F. Meggitt y D. Penner. 1976. Factors affecting EPTC injury to Navy bean. Weed Sci. 24: 1-4.
23. Wyse, D.L., W.F. Meggitt y D. Penner. 1976. Effect of herbicides on the development of root rot on Navy bean. Weed Sci. 24: 11-15.
24. Wyse, D.L., W.F. Meggitt y D. Penner. 1976. Herbicide-root rot interaction in Navy bean. Weed Sci. 24: 16-21.
25. Zaumeyer, W.J. y H.R. Thomas. 1957. A monographic study of bean diseases and methods for their control. U.S.D.A. Agr. Tech. Bull. No. 868, 255 p.