

Estudio del transporte del moho azul hacia la provincia P. del Río mediante trayectorias calculadas manualmente a partir del campo de viento.

Autor: JULIO C. MARÍN

Departamento de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología. E-mail: agromet@met.inf.cu

Resumen.

La enfermedad Moho Azul del tabaco causada por el hongo Peronospora tabacina Adam se detectó y desarrolló como epidemia en 1979 después de muchos años sin tener reportes de ésta en nuestro país. Producto de su aparición en ese mismo año en otros países del área como los Estados Unidos y Canadá, se analizó la posibilidad de su transporte hacia la provincia de Pinar del Río con el empleo de trayectorias calculadas manualmente hacia atrás. Se determinó que las regiones tabacaleras del Sudeste y Este de los Estados Unidos, así como las regiones de América central donde es posible existían focos de la enfermedad, pudieron ser las posibles fuentes desde donde se transportó, siendo los frentes fríos y los ciclones tropicales los sistemas sinópticos más probables para esto.

Introducción

Los sistemas atmosféricos pueden transportar, dispersar, o concentrar partículas de origen biológico (esporas, polen, insectos, etc), siendo esto un tema de estudio para los investigadores desde hace mucho tiempo (Gregory, 1973, Pedgley, 1990, Isard et al., 1999).

El Moho azul es una enfermedad que afecta al cultivo del tabaco. Esta es causada por el hongo *Peronospora tabacina* Adam, el cual se reproduce mediante esporas. Las esporas de los hongos abundan en la atmósfera y son a menudo identificadas viajando en una nube (Hirst et al., 1967). Las esporas del moho azul pueden viajar grandes distancias (más de 100 km) sumidas en el flujo de viento de escala sinóptica predominante, desde una región infestada a otra donde haya cultivos hospederos susceptibles de que se desarrolle una epidemia (Aylor, 1982).

En el año 1979 se evidenció la aparición de esta enfermedad en nuestro país. Como ésta no había sido reportada en muchos años por las autoridades fitosanitarias, es de suponer que su arribo a nuestro país fue producto de la acción de los flujos de viento predominantes que transportaron sus esporas desde regiones fuentes foráneas donde se encontraba la enfermedad.

En ese mismo año la enfermedad se reporta en la campaña de tabaco de los Estados Unidos (EU), (la cual ocurre desde principios de año hasta septiem-

bre) alcanzando la característica de epidemia y causando grandes pérdidas económicas a los productores. En varios lugares donde solo habían alcanzado la categoría de pequeños focos locales durante muchos años se desarrolla grandemente la enfermedad, así como en otros lugares donde no se reportaba desde hacía tiempo (Todd, 1979). En el año 1980 también la enfermedad se disemina por todos los EU supuestamente a partir de esporas transportadas desde regiones de Cuba y Jamaica (Todd, 1980).

Para que una nube de esporas alcance con éxito una plantación determinada desde una fuente localizada a varios kilómetros de ella, varios factores deben analizarse:

- El número de esporas liberadas en la fuente: Para 500 ha de tabaco infestadas, Aylor (1986) estimó que son producidas 6.44×10^{13} esporas por día.

- El mezclamiento de esta nube de esporas por la turbulencia atmosférica: Esta etapa ocurre fundamentalmente en las horas de la mañana y la tarde, cuando hay un intercambio turbulento entre la superficie y la capa superficial atmosférica con movimientos ascendentes por toda la capa de mezclamiento hasta los niveles altos de la atmósfera.

- La supervivencia de las esporas a la radiación solar, especialmente la ultravioleta (UV): En 6 horas de completa exposición a la luz solar el 99 % de las esporas en el aire pueden ser matadas. En condiciones de cielo cubierto, sin embargo, alrededor del 80 % de las esporas en el aire sobreviven por 6 horas o más (Bashi y Aylor, 1983).

●El número de esporas que se pierden por deposición en la vegetación o el suelo debido a la impactación o la deposición gravitacional. También pueden perderse al ser lavadas por la lluvia al pasar la nube de esporas por debajo de una nube de precipitación.

Varios investigadores han realizado trabajos con modelos de trayectorias (Aylor and Taylor, 1982; Aylor, 1986; Davis y Main, 1986; Davis y Monahan, 1991) en los que se analiza a través de las trayectorias más probables, el transporte de las esporas del moho azul por la atmósfera desde fuentes conocidas de la enfermedad a otras donde aparecieron por vez primera, o el papel que juega una fuente extensa severamente infestada situada a cientos de kilómetros del lugar de estudio comparada con una fuente pequeña no tan infestada situada a unos pocos kilómetros.

Otros trabajos se han basado en el análisis de la dirección del flujo de viento y así mediante el uso de trayectorias calculadas manualmente, poder predecir posibles trayectorias y pronosticar el movimiento de esporas, mangas de viento u otros agentes patógenos (Hirst, 1967; Tyldesley, 1973, Nagarajan et al., 1976).

En nuestro trabajo se analizan los primeros años en que se reportó la enfermedad en nuestro país, 1979 y 1980, y además el año 1982. En estos años no se tenían datos para utilizar un modelo de trayectorias, por lo que se trazaron trayectorias hacia atrás calculadas manualmente, a partir de los datos de primeros reportes de la enfermedad en la provincia más occidental de Cuba, Pinar del Río. De esta forma, se estudiaron las posibles fuentes desde donde pudieron arribar las esporas de la enfermedad a la provincia Pinar del Río, así como los sistemas que pudieron transportarlas.

Materiales y métodos

Para el presente estudio, se cogieron los datos de primeros reportes de la enfermedad moho azul del tabaco en Pinar del Río, brindados por el centro meteorológico de la provincia a partir de los sistemas de prevención y vigilancia que realizan las autoridades fitosanitarias de esa región. Se tomaron los años 1979, 1980 y 1982 para analizar las temporadas 1979/1980, 1980/1981 y 1982/1983.

Se realizó una revisión de los mapas sinópticos confeccionados en el Instituto de Meteorología por los datos aerológicos que se reciben cada 6 horas, almacenados en el archivo del Instituto. A partir de

éstos, se sacaron las posibles situaciones de tiempo ocurridas días atrás de las fechas en que se reportaron las primeras apariciones de la enfermedad, para determinar en cuales de ellas pudieron ocurrir trayectorias favorables hacia nuestro país. Se revisaron los mapas de superficie, ploteados y analizados cada 6 horas y los de aire superior que se encuentran cada 12 horas para los años mencionados.

Determinar la fecha exacta del arribo de las esporas a una región, es una tarea difícil de realizar ya que para esto habría que tener colectores en la superficie y a varios niveles de altura para saber el momento exacto de su llegada. Aún así, estas son partículas muy pequeñas de observar dentro de la enorme cantidad de organismos que existen flotando diariamente en la atmósfera.

A partir de la fecha del primer reporte de la enfermedad en el campo, y basado en observaciones de la enfermedad y el conocimiento del periodo latente del moho, se estima que el posible arribo de las esporas ocurre entre 10-15 días antes a esta fecha (Lucas, 1975).

Tabla No. 1 Casos analizados para determinar en cuales de ellos se evidencia un episodio de transporte.

Años	Fechas	Situaciones sinópticas
79	Caso 1: 13 al 18 Oct. Caso 2: 26 y 27 de Oct. Caso 3: 4 al 6 de Nov. Caso 4: 7 al 14 de Nov.	1: Depresión tropical. 2 y 3: Flujos del Norte debido a derrames anticiclónicos detrás de frentes fríos que no llegan a nuestro país. 4: flujo del Sudeste (SE-E).
80	Caso 1: 9 de Dic. Caso 2: 12 de Dic. Caso 3: 14 de Dic.	1: Flujos del Este 2 y 3: Frentes fríos.
82	Caso 1: 16 de Nov. Caso 2: 24 de Nov.	1: Frente frío. 2: Flujo del Este.

Los casos de situaciones sinópticas sacados de los mapas que se analizaron, para determinar en cuales de ellos ocurrieron trayectorias favorables para un episodio de transporte se señalan a continuación en la Tabla 1:

Estas situaciones sinópticas ocurrieron cada año en un intervalo de tiempo de aproximadamente 10-15 días antes de la primera aparición de la enfermedad, aunque en unos casos se tomó un periodo de tiempo mayor, debido a la posibilidad de que al detectarse por primera vez la enfermedad, hubieran ocurrido dos o más ciclos de ésta. En este estudio se analiza el arribo de la enfermedad a la provincia P. del Río y se busca determinar las fuentes posibles desde donde arribaron estas esporas y los sistemas sinópticos favorables para este episodio de transporte. No se toma en cuenta el posible arribo de la

enfermedad desde otras zonas del país, sino que nos centramos en el estudio de los eventos sinópticos que inciden sobre nuestro país y pueden traer la enfermedad desde regiones foráneas.

El método utilizado para el cálculo manual de las trayectorias fue el de la regla del gradiente, el cual se basa en el análisis del flujo de viento en los mapas sinópticos. Tomando el lugar donde se reportó por primera vez la enfermedad, se trazan trayectorias hacia atrás teniendo en cuenta el gradiente del viento alrededor del punto que se esté analizando. O sea, hay que tomar la velocidad y la dirección del viento y analizar la relación con las millas náuticas para una supuesta partícula sumida en el flujo de viento predominante, en un tiempo dado, para la rejilla (latitud/longitud) que se esté empleando. Se analizaron los mapas de superficie, 1000 y 850 mb.

Después de tener las coordenadas de la posición del centro de la parcela probable de contener esporas, se trazó la trayectoria en un mapa que comprende la región de estudio para mostrar su recorrido. Estos tienen su origen en la provincia de Pinar del Río y finalizan en los lugares fuentes desde donde es probable que haya partido la parcela moviéndose a través del campo de viento que influía en ella en ese momento.

Discusión de los Resultados

En total fueron analizados 9 casos. La mayoría de ellos correspondía a situaciones de frentes fríos, con 5 casos en total, 3 casos correspondientes a flujos del Este/Sudeste sobre nuestro país y una situación correspondiente a una depresión tropical que se formó en el Caribe. Analizaremos como ejemplos los casos 1 y 2 de 1979:

Caso 1: El día 26 de Octubre se impone un flujo del Norte en superficie por un derrame anticiclónico detrás de un frente que pasa por el Norte de Cuba sin atravesarla.

Las trayectorias trazadas para varios niveles se muestran a continuación para el caso 1:

Fig. 1 y 2: Trayectorias trazadas hacia atrás para el día 27 de Octubre producto del derrame anticiclónico con componente Norte/Noreste en superficie y en los 1000 mb.



Como se aprecia para este caso, trayectorias provenientes desde regiones de los Estados Unidos donde existían reportes de la enfermedad pudieron haber transportado esporas, siendo depositadas luego, y desarrollándose la enfermedad cuando las condiciones climáticas lo favorecieron. En la fig. 3 se muestran las fechas de primeros reportes del moho azul en los Estados Unidos y Canadá localizados en los campos para los años 1979 y 1980.

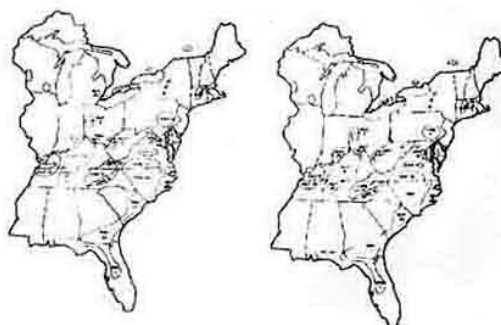


Fig. 3. Fechas de las primeras apariciones de la enfermedad en los estados del Sudeste y Este de los Estados Unidos y Canadá para los años 1979 y 1980 (Tomada de Aylor, 1982. Long-range transport of tobacco blue mold spores).

Los frentes fríos tienen una gran importancia, ya que en la etapa invernal éstos ocurren frecuentemente y su influencia se extiende durante varios días. Además, sus recorridos pueden ser bastante rápidos por las zonas fuentes de la enfermedad hasta que llegan a nuestro país (llegando a ocurrir en 48 horas o menos).

Estos sistemas presentan fuertes vientos capaces de arrastrar esporas a su paso por las regiones infestadas o ser elevadas hasta grandes alturas producto de su actividad convectiva, por lo que pueden moverse por la atmósfera como núcleos de condensación. Debido a la nubosidad que acompaña a los frentes, las esporas pueden ser protegidas de la radiación solar, especialmente de la UV que puede

matarlas en unas cuantas horas, y viajar grandes distancias. Finalmente, pueden ser depositadas por la lluvia que presentan estos sistemas dentro de las gotas como núcleos de condensación o ser arrastradas por la misma hacia la tierra.

Caso 2: El día 13 de Octubre se forma una depresión en Centroamérica con vientos del Sudeste hacia la región occidental del país. En la parte oriental el flujo era del Sudeste/Este. Este organismo se desplazó hacia el Norte y con los días los vientos fueron girando en dirección Norte. Una gran actividad de lluvia acompañó a este organismo.

Para este caso, no se observaron trayectorias en superficie y 1000 mb con posibilidad de un episodio de transporte, pero en los 850 mb se apreció una trayectoria proveniente de regiones de América central en donde es posible existiera la enfermedad, ya que en esos lugares existen plantaciones comerciales del cultivo, además de que pueden existir plantas silvestres con la enfermedad.

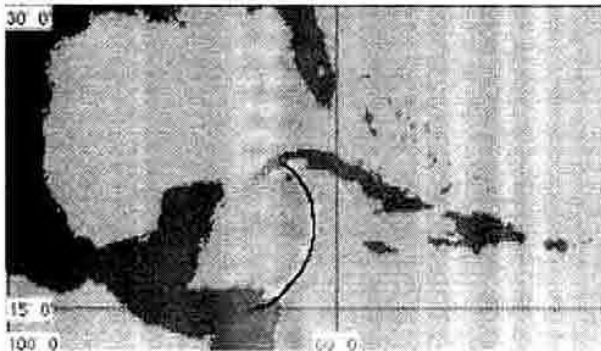


Fig. 4: Trayectoria trazada para el día 17 de Octubre en los 850 mb debido a la depresión tropical.

Estas posibles esporas transportadas pueden haber sido elevadas hasta grandes alturas por la gran actividad convectiva de estos sistemas, transportarse por esos niveles de la atmósfera hasta nuestro país, sobrevivir debido a la gran actividad de nublados presente en estos sistemas y ser posteriormente depositadas en nuestro país debido a las lluvias ocurridas. Por esto, los ciclones tropicales que se forman en el Caribe pueden considerarse el otro evento importante con posibilidad de haber transportado las esporas a su paso.

Ningún caso de flujo del Este o Sudeste fue favorable para el transporte de la enfermedad desde regiones infestadas en el área del Caribe, como por ejemplo Dominicana o Jamaica hacia Pinar del Río. Las trayectorias analizadas o no pasaban por ningún lugar fuente posible de la enfermedad, o pasado un tiempo grande daban a Dominicana como lugar probable; pero tal situación, de existir, no debe haber permitido la supervivencia de las esporas en la atmósfera por tanto tiempo, ya que en estos casos de flujos del este predominaba el buen tiempo, disminuyendo la viabilidad de las esporas en el aire.

Las regiones fuentes encontradas desde donde se pudieron transportar las esporas, fueron las regiones del sudeste y este de los Estados Unidos principalmente, y las zonas de América Central.

En general deben ser estudiados más casos para poder confeccionar una climatología de trayectorias y así poder conocer todas las fuentes probables desde donde pueda arribar la enfermedad así como los principales sistemas sinópticos que la transportan.

Este método de cálculo de trayectorias manualmente presenta un mayor error que el cálculo de trayectorias por medio de un modelo numérico; de hecho, no es posible dar a partir de esto una conclusión exacta. Por esto es necesario el empleo de un modelo de trayectorias para un estudio más exacto sobre este tema. Además, el número de casos analizados fue poco.

En la Tabla No. 2 se presentan las regiones fuentes foráneas más probables encontradas en este estudio, desde donde pudo venir la enfermedad, así como las situaciones sinópticas que produjeron estas trayectorias.

Tabla No. 2: Casos posibles de episodios de transporte y las situaciones sinópticas que lo favorecieron.

No. de casos	situaciones sinópticas	fuentes probables
1979: Caso: 2, 3	frentes fríos	Sudeste y Este de los Estados Unidos
1980: Caso: 2 y 3		
1982: Caso: 1		
1979: Caso 1	depresión tropical	América Central

Conclusiones

Las trayectorias calculadas hacia atrás con origen en la provincia de Pinar del Río, mostraron que los eventos meteorológicos severos tales como los frentes fríos y los ciclones tropicales pudieron provocar el transporte de las esporas del hongo grandes distancias hacia esta provincia.

Las trayectorias calculadas dieron como fuentes más probables desde donde pudo ocurrir el transporte de la enfermedad, a las regiones del sudeste y este de los Estados Unidos y las regiones de América Central.

No se encontraron trayectorias favorables para el transporte de las esporas desde las regiones del Caribe hacia la provincia de Pinar del Río. En los casos estudiados, solo Dominicana fue el único país en donde se observaron trayectorias calculadas manualmente que pasaban cerca, pero esto ocurrió después de un tiempo muy grande, por lo que de existir una nube de esporas en esas condiciones no debieron sobrevivir y ser depositadas para una posterior infección.

A pesar de las dificultades mencionadas, este trabajo refleja la posibilidad que existe de que las esporas de esta enfermedad puedan alcanzar nuestro país sumidas en un flujo de viento predominante producto de un evento sinóptico fuerte; aunque cualquier flujo de viento predominante con las condiciones apropiadas puede ser propicio para este transporte. Se aprovechó y se utilizaron estos años para realizar este estudio por este método, ya que estos fueron los primeros años en que apareció la enfermedad, siendo muy probable que haya venido desde lugares foráneos.

Referencias

- Aylor, D. E., 1982.** Long-Range Transport of Tobacco Blue Mold Spores. *Agricultural Meteorology*, 27, 217-232.
- Aylor, D. E., Taylor, G. S., 1983.** Escape of peronospora tabacina spores from a field of diseased tobacco plants. *Phytopathol.* 73, 525-529.
- Aylor, D. E., 1986.** A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. *Agricultural and Forestry Meteorology*, 38, No 4, 263-288.
- Bashi, E., Aylor, D.E., 1983.** Survival of detached sporangia of *Peronospora destructor* and *Peronospora tabacina*. *Phytopathology*. 73, 1135-1139.
- Davis, J. M., 1987.** Modeling the long-range transport of plant pathogens in the atmosphere. *Annu. Rev. Phytopathol.* 25, 169-188.
- Davis, J. M., Main, C. E., 1986.** Applying atmospheric trajectory analysis to problems in epidemiology. *Plant Dis.* 70, 490-497.
- Davis, J. M., Monahan, J. F., 1991.** Climatology of air parcel trajectories related to the atmospheric transport of *Peronospora tabacina*. *Plant Dis.* 75, 706-711.
- Gregory, P.H., 1973.** *The Microbiology of the Atmosphere*, Wiley, New York, 377 pp.
- Hirst, J. M., Stedman, O.J, Hogg, W. H., 1967.** Long distance spore transport: Methods of measurement, vertical spore profile and the detection of immigrant spores. *J. Gen. Microbiol.*, 48, 329-355.
- Isard S. A., Kristovich David A. R., Gage S. H., Jones C. J. y Laird N. F., 1999.** Atmospheric Motion Systems that Influence the Redistribution and Accumulation of Insects on the Beaches of the Great Lakes in North America. <http://www.inhs.uiuc.edu/cee/movement/99research.html>
- Lucas, G.B., 1975.** *Diseases of Tobacco*. Harold E. Parker, Fuquay-Varina, NC, 621 pp.
- Main, C. E., Keever, Z. T., Davis, J. M., 1996-1998:** Blue mold FORECASTS: North American Blue Mold Forecast Center. Web address: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/bluemold>.
- Nagarajan, S., Sinh, H., Joshi, J. M. and Saari, E. E., 1976.** Meteorological conditions associated with long-distance dissemination and deposition of *Puccinia graminis tritici* uredospores in India. *Phytopathology*, 66: 198-203.
- Pedgley, D. E., 1990.** Concentration of flying insects by the wind. *Phil. Trans. R. Soc. London B.*, 328, 631-653.
- Todd, F.A., 1979.** The epidemic of 1979. I. First occurrence, loss, special problems. In: *Blue Mold Symposium I*. Dec. 3-6, North Carolina State University.
- Todd, F.A., 1980.** Blue Mold Reports nos. 1-38, Blue Mold Central, USA and Canada. North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Tyldesley, J.B., 1973.** Long-range transmission of tree pollen to Shetland. I. Sampling and trajectories. *New Phytol.*, 72: 175-181.

Abstract

Tobacco blue mold is caused by the pathogen Peronospora tabacina Adam. This disease developed as an epidemic in 1979 after many years absent or present in an insignificant way in our country. Due to the appearance of the disease in other foreign countries like The United States and Canada at the same year, it was analyzed the possibility of aerial transport of blue mold spores from foreign regions toward Pinar del Río by means of back trajectories calculated manually. It was determined that southern and eastern tobacco commercial regions of The United States, as well as central american regions, could be possible sources from where spores were transported. It was found that cold fronts and tropical cyclones were the most probable synoptic systems to transport this pathogen from foreign sources to Pinar del Río.

Palabras clave:

moho azul, transporte aereo, trayectorias calculadas manualmente