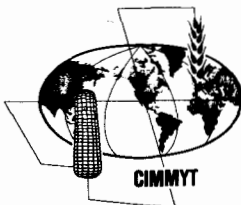




EPIDEMIOLOGIA DE LAS ROYAS DEL TRIGO EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL

Sanjaya Rajaram
Armando Campos



CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO
INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER
Londres 40 Apartado Postal 6-641 México 6, D. F., México

CONTENIDO

Abstracto	1
Abstract	2
Extrait	3
INTRODUCCION	5
ZONAS EPIDEMIOLOGICAS PROPUESTAS	8
I. GRANDES PLANICIES DE NORTEAMERICA	10
Estudios sobre aerobiología de las royas en Canadá	10
Caso Histórico: aerobiología y epifitias sobre el área que abarca el Norte de México, la Cuenca del Mississippi de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá	11
Las amplias diseminaciones de roya del tallo en 1923, 1925 y 1935	12
Historia de la raza 15B y la destructiva epifitía de la roya del tallo en 1950	14
II. PACIFICO NOROESTE DE NORTEAMERICA: AREA UBICADA AL OESTE DE LAS MONTAÑAS ROCALLOSAS	16
III. ESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS Y CANADA (AREAS UBICADAS AL ESTE DE LOS MONTES ALLEGHANYS EN ESTADOS UNIDOS Y DE LA BARRERA LAURENTINA DE CANADA	18
IV. SUR DE MEXICO Y GUATEMALA	18
V. PAISES ANDINOS: COLOMBIA, ECUADOR, PERU Y CHILE. REGIONES UBICADAS AL OESTE DE LOS ANDES	20
VI. AREAS QUE COMPRENDEN EL SUR DE BRASIL, EL NORTE DE ARGENTINA, URUGUAY Y PARAGUAY	25

EPIDEMIOLOGIA DE LAS ROYAS DE TRIGO EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL*

Sanjaya Rajaram y Armando Campos Vela**

ABSTRACTO

A principios del siglo actual, las devastadoras epifitias de roya del trigo registradas en las Grandes Planicies de Norteamérica (Norte de México, Planicies de los Estados Unidos de América y las Provincias de las Praderas de Canadá) propiciaron el estudio de la especialización fisiológica de las royas del tallo y de la hoja, el desarrollo de variedades resistentes y la investigación sobre su epidemiología y aereobiología. No existe ninguna otra región en el mundo que haya sido estudiada tan minuciosamente; durante 50 años se han publicado en forma sistemática datos sobre la aereobiología y la epidemiología de las royas del trigo en esta extensa zona.

En el presente trabajo, se aporta evidencia adicional que apoya la hipótesis de que dicha región forma una sola zona epidemiológica para estas dos enfermedades del trigo.

Se delimitan otras cinco zonas geográficas epidemiológicas en el Hemisferio Occidental: tres en Norteamérica y dos en Sudamérica. La evidencia de su existencia se basa en datos sobre los patrones de virulencia de tres especies viz *Puccinia graminis tritici*, *Puccinia recondita* y *Puccinia striiformis*, solas o en conjunto.

Se proporciona información de apoyo indicativa de los agrupamientos regionales, según datos de epifitias, muestreos sobre virulencia y patrones de virulencia sobre variedades incluidas en cinco ensayos internacionales de rendimiento de trigos de primavera y en dos años de ensayos internacionales sobre roya lineal.

Con base en la evidencia actual, existen las siguientes zonas epidemiológicas para royas:

1. Las Grandes Planicies de Norteamérica.
2. El Pacífico Noroeste de los Estados Unidos (California, Oregon, Washington).

* Trabajo presentado en la Conferencia "La Ciencia y el Hombre" CONACYT-AAAS, México, D. F., junio de 1973.

** Fitopatólogos, Programa Internacional de Trigo, CIMMYT, México.

3. El Este de los Estados Unidos y Canadá (áreas al Este de los Montes Alleghany de los Estados Unidos y de la Barrera Laurentina de Canadá).
4. Sur de México y Guatemala.
5. Zona Andina de Colombia, Ecuador, Perú y Chile (hay evidencia de sub-zonas epidemiológicas en esta región).
6. Sur de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay.

Aún cuando las correlaciones son altas para los tipos de virulencia dentro de estas áreas, hay indicios de intercambio ocasional de tipos de virulencia entre las zonas. Es probable que esto suceda donde las zonas son adyacentes o próximas, donde hay brechas en las barreras montañosas o en lugares donde las barreras desérticas son angostas.

EPIDEMIOLOGY OF WHEAT RUSTS IN THE WESTERN HEMISPHERE

ABSTRACT

Shortly after the turn of the century, devastating wheat rust epidemics in the Great Plains of North America (Northern Mexico, the Plains of the U.S.A. and the Prairie Provinces of Canada), prompted the study of physiologic specialization in stem and leaf rust, the breeding of resistant varieties, and the epidemiology and aerobiology of these rust diseases. No comparable area of the world has been studied so precisely and 50 years data have been systematically presented for the aerobiology and epidemiology of these organisms in this region.

In the present paper, additional evidence is provided to support the hypothesis that this region forms a single epidemiological zone for these two diseases.

Five other major geographical epidemiological zones are delineated in the Western Hemisphere: three in North America and two in South America. Evidence for their existence is based on data available for virulence patterns of the three species viz *Puccinia graminis tritici*, *Puccinia recondita* and *Puccinia striiformis*, either of one or a combination of species.

Epidemics, virulence surveys, virulence patterns on varieties in Five International Spring Wheat Yield Nurseries and two years of the International Stripe Rust Nursery, have been used to provide supporting data indicative of regional groupings.

On the basis of available evidence it appears that the following epidemiological zones for rust exist:

1. The Great Plains of North America.
2. The Pacific Northwest (California, Oregon, Washington)
3. The Eastern United States and Canada (areas East of the Alleghany in the U.S. and the Laurentian Shield in Canada).
4. Southern Mexico and Guatemala.
5. The Andean Countries of Colombia, Ecuador, Peru and Chile (there is evidence of sub-epidemiological zones in this region).
6. Southern Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay.

While correlations are high for virulence patterns within these areas, there are indications of occasional interchange of virulence types between the zones. This is likely to occur where the zones come into close proximity, there are gaps in mountain ranges or a narrowing of desert barriers occurs.

EPIDEMIOLOGIE DES ROUILLES DU BLE DANS L'HEMISPHERE OCCIDENTAL

EXTRAIT

Au début du siècle actuel, les épiphyties dévastatrices de la rouille du blé enregistrées dans les Grandes Plaines de L'Amérique du Nord (Nord du Mexique, Plaines des Etats-Unis d'Amérique, et les Provinces des Prairies du Canada) ont rendu favorable l'étude de la spécialisation physiologique de la rouille de la tige et de la feuille, le développement de variétés résistantes et la recherche sur l'épidémiologie et l'aérobiologie. Il n'existe aucune autre région dans le monde qui ait été étudiée avec tant de minutie; durant cinquante ans il a été publié systématiquement des données sur l'aérobiologie et l'épidémiologie des rouilles du blé dans cette zone étendue.

Dans ce travail, on apporte l'évidence additionnelle qui appuie l'hypothèse que cette région forme une seule zone épidémiologique pour ces deux maladies du blé.

On a délimité cinq autres zones géographiques épidémiologiques dans l'Hémisphère Occidental: trois en Amérique du Nord et deux en Amérique du Sud. L'évidence de leur existence s'appuie sur des données des modes de virulence de trois espèces viz *Puccinia graminis tritici*, *Puccinia recondita* et *Puccinia striiformis*, pour chacune d'elle ou ensemble.

On s'est procuré une information d'appui indicative des groupements régionaux, d'après les données des épiphyties, des épreuves sur la virulence et modes de virulence de variétés incluses dans cinq pépinières internationales de rendement de blés de printemps et deux ans de pépinière internationale de rouille jaune.

Comme base, dans l'évidence actuelle il existe les zones épidémiologiques suivantes pour les rouilles:

1. Les Grandes Plaines de l'Amérique du Nord.
2. Le Pacifique Nord-est des Etats-Unis (Californie, Orégon, Washington).
3. L'Est des Etats-Unis et du Canada (régions de l'Est des Monts Alleghany des Etats-Unis et l'Est des Monts Laurentienne du Canada).
4. Sud du Mexique et Guatemala.
5. Zone andine de Colombie, Equateur, Pérou et Chili (il y a une évidence de sub-zones épidémiologiques dans cette région).
6. Sud du Brasil, Argentine, Paraguay et Uruguay.

Même quand les corrélations sont élevées pour les types de virulence dans ces régions, il y a des indices d'échange occasionnel de types de virulence entre les zones. Il est probable qu ceci arrive lorsque les zones sont adjacentes ou voisines, s'il y a des brèches dans les barrières montagneuses ou dans les endroits où les barrières désertiques sont étroites.

EPIDEMIOLOGIA DE LAS ROYAS DEL TRIGO EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL

INTRODUCCION

La tónica de la historia de la investigación sobre las royas de los cereales ha sido en gran parte de desafío y respuesta. Uno de tales desafíos lo constituyó la epifitía de roya del tallo registrada en Norteamérica en 1916, la cual condujo a esfuerzos más intensos en el estudio de la especialización fisiológica de las razas de roya y al desarrollo de variedades resistentes. Otro desafío fue el surgimiento en 1950 de la raza 15B de la roya del tallo del trigo, causada por *Puccinia graminis tritici* en Norteamérica, epifitía que impulsó la internacionalización de los esfuerzos tendientes a controlar las royas de los cereales. En este respecto, fue de gran importancia la Primera Conferencia Internacional sobre Roya del Trigo, celebrada en St. Paul, Minnesota, en 1950. A ésta siguieron las conferencias verdaderamente internacionales llevadas a cabo en Winnipeg, Canadá en 1953 y en la Ciudad de México en 1956.

Los Coloquios Europeos sobre la Roya Negra de los Cereales, celebrados en Versalles (1958) y en Madrid (1961), y las Conferencias sobre Roya de los Cereales en Cambridge (1964), Lisboa (1968) y Praga (1972), se pueden considerar descendientes lineales de las reuniones americanas. Un acontecimiento importante en Europa fue la resolución aprobada en el IV Congreso Internacional de Protección Vegetal llevado a cabo en Hamburgo en 1957, en el cual se exhortó a una mayor cooperación europea para el estudio de la roya del tallo del trigo. Esto propició la colaboración efectiva, especialmente en el campo de la epidemiología, entre los investigadores de los países europeos. Por otra parte, en los últimos 15 años se han celebrado ocho reuniones norteamericanas de trabajo sobre roya de la hoja, *Puccinia recondita*, que han dado como resultado un mayor conocimiento de los problemas relacionados con la identificación de razas fisiológicas (sondeos de virulencia), de la epidemiología y resistencia varietal.

Un hecho básico importante con respecto a la distribución y epidemiología de las royas de los cereales, es su plasticidad (18). Las royas se adaptan. La mayoría de las autoridades en este campo presumen que mucho antes de que los cereales existiesen ya había royas en los pastos ancestros de los cereales, y que las royas se adaptaron a los cereales cuando éstos aparecieron. Leppik (24) hace esta suposición para la roya del tallo y

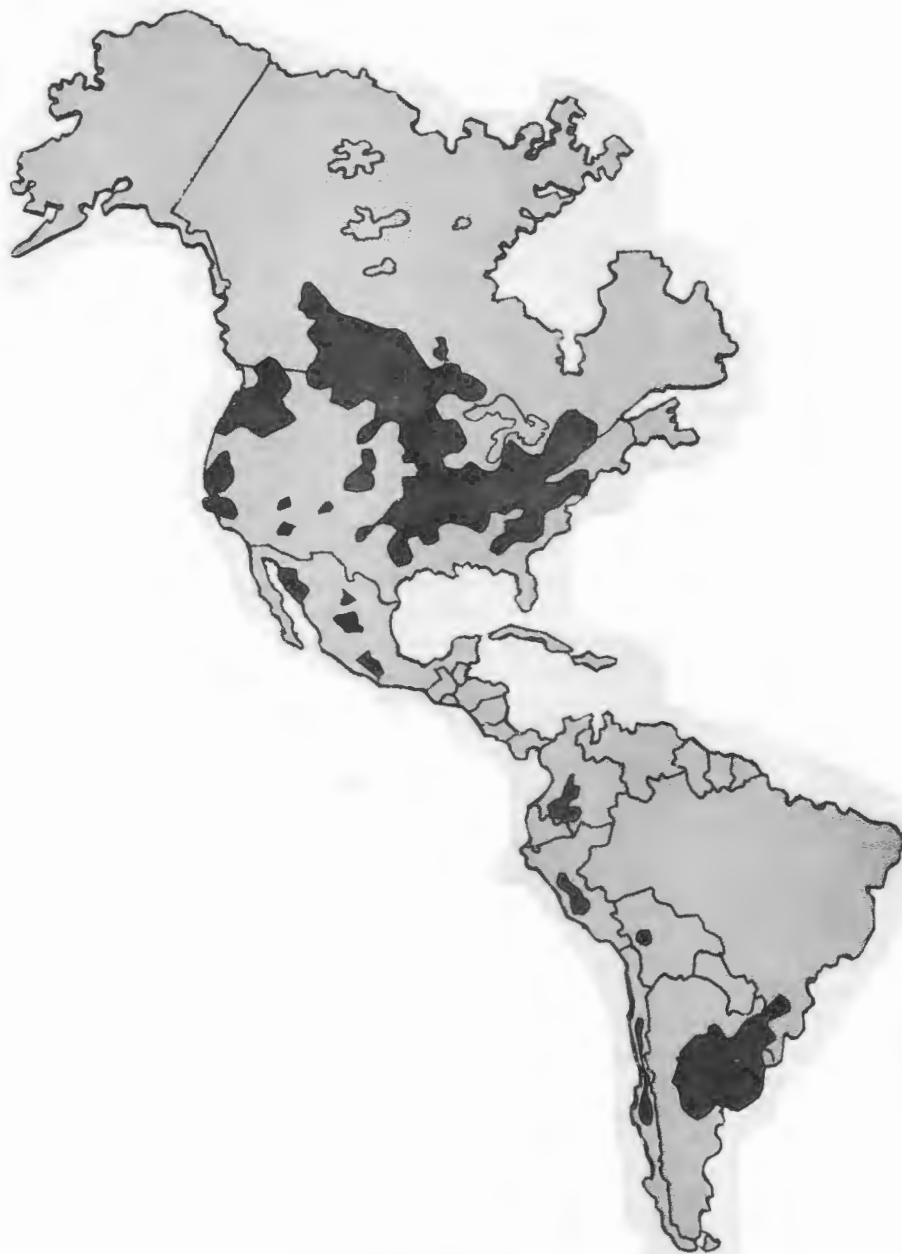


Fig. 1. Areas trigueras del Hemisferio Occidental

Hassebrauk (12) apoya la sugerencia de Humphrey y colaboradores (15) en el sentido de que la roya lineal *Puccinia striiformis* emigró de su complejo génico asiático hacia Norteamérica, donde se estableció en pastos; más tarde, cuando los cereales comenzaron a cultivarse en el Nuevo Mundo, la roya se adaptó a ellos.

Oliviera y Samborsky (31) suponen que la especialización del estado sexual de la roya de la hoja (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*) siguió dos tendencias principales de evolución: una de adaptación a hospederos de las Ranunculáceas y otra a especies de las Boragináceas. Dentro de cada grupo ha habido una mayor diferenciación y actualmente se registran diversas combinaciones de hospederos gametofíticos y esporofíticos en forma natural.

Esto se ilustra por la presencia en trigo, en Portugal, de dos linajes de *P. recondita*, uno adaptado a *Thalictrum* spp. y el otro a *Anchusa italica* Rtz. En Siberia prevalece otro linaje adaptado a *Isopyrum fumarioides*. Tal vez la introducción relativamente tardía de la roya de la hoja al Continente Americano —a partir de su hogar euroasiático— pudiera contribuir a su inadaptación a las especies americanas de *Thalictrum*, aunque el informe de Young, Saari y Curtis (5) sugiere la posibilidad de que la roya pudiera adquirir gradualmente la capacidad de infectar algunas de estas especies americanas.

La plasticidad de las royas es más evidente en sus relaciones hospedero-patógeno que en sus respuestas ambientales. Cada roya tiene su adaptación climática particular y existe poca evidencia de cambios en ese respecto (18). La incursión de la roya lineal a las grandes planicies de los Estados Unidos en 1957 y 1958 (50, 34, 36, 37, 38, 8, 7, 14, 9) fue probablemente más una respuesta a las condiciones climáticas propicias para la roya que, como se temió primero, a un cambio en sus requerimientos climáticos. Los requerimientos climáticos y, por tanto, la distribución de las tres royas del trigo, se fijaron probablemente mucho antes de que se desarrollaran los cultivos cerealícolas: la roya lineal predominaba, como ahora, en los climas fríos de las regiones litorales y en las altas elevaciones; la roya del tallo en las zonas continentales más bajas y cálidas, y la roya de la hoja, con su adaptación a temperaturas intermedias, se difundió en cierto grado en ambos tipos de climas (18).

Que las corrientes de aire diseminan las esporas de hongos se sabe casi desde que se conoció la existencia de esporas. En 1729, Micheli (29) publicó los resultados de investigaciones que hicieron época sobre la reproducción de hongos mediante esporas, y mostró que se podían liberar nubes de esporas al aire. Prevost, en 1807 (40), no sólo mostró que el carbón del trigo era causado por un hongo sino que también sugirió que algunas veces el viento diseminaba las esporas en la época de la trilla. Después de que, en 1853, DeBary aportó evidencias generalmente aceptadas en el sentido que los hongos pueden causar enfermedades de las plantas, se advirtió que el viento diseminaba muchos fitopatógenos fungosos, por lo menos localmente. Aún así, se carecía de evidencia concluyente

sobre la diseminación a gran distancia, aunque Klebahn (21) y otros señalaron que así sucedía, en vista de la ocurrencia de epifitias de ciertas royas en regiones ubicadas a gran distancia de las fuentes de inóculo conocidas. Uno de los casos más ampliamente estudiados y documentados acerca de la diseminación aérea de un fitopatógeno sobre una distancia de 4,000 km que abarcaba las regiones del Noroeste de México, las grandes planicies de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá, fue el desplazamiento de la roya del tallo de Sur a Norte y viceversa (4, 5, 42, 43, 44). Ninguna región del mundo se ha estudiado con tanto detalle en relación a la aerobiología y epidemiología de la roya del tallo como las grandes planicies de Norteamérica. En esta revisión e interpretación se presentan algunos casos seleccionados de epifitias de roya del trigo conocidas en Norteamérica. Además se compilan estudios sobre especialización fisiológica y sondeos de virulencia, a fin de allegar conclusiones al agrupar las varias zonas epidemiológicas y subepidemiológicas tanto en Norteamérica como en Sudamérica. De la experiencia de los autores y de interpretaciones semejantes hechas en otros lugares (comunicaciones personales de E. Saari) (48), se han configurado patrones genéticos de virulencia similares en un patógeno particular en diferentes áreas adyacentes que se considerarían como una zona epidemiológica, independientemente de los países que la constituyan.

ZONAS EPIDEMIOLOGICAS PROPUESTAS

Desde el punto de vista ilustrativo, se discuten seis áreas geográficas principales —cuatro en Norte y Centroamérica y dos en Sudamérica— en relación con las royas del trigo (*Puccinia graminis tritici*, *Puccinia recondita* y *Puccinia striiformis*). A fin de substanciar la hipótesis que se propone, se presentan datos históricos sobre epifitias e información sobre sondeos de virulencia. Se presentan también datos para ilustrar la posibilidad de zonas subepidemiológicas dentro del área. Abajo se enumeran seis zonas:

1) Las Grandes Planicies de Norteamérica, constituídas por el Norte de México, la Cuenca del Río Mississippi de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá (Manitoba, Saskatchewan y Alberta).

2) El área del Pacífico-Noroeste de los Estados Unidos (Estados de California, Oregon y Washington), o sea el área general situada al Oeste de las Montañas Rocallosas. La roya lineal es la roya principal y existe la posibilidad de que existan zonas subepidemiológicas dentro de dicha región.

3) Este de los Estados Unidos y Canadá (las regiones ubicadas al Este de los Montes Alleghanys en los Estados Unidos y de la Barrera Laurentina en Canadá).

4) Sur de México y Guatemala.



Fig. 2. Zonas epidemiológicas sugeridas para royas del trigo: I. Las grandes planicies de Norteamérica; II. El Pacífico Noroeste; III. Este de los E.U.A. y Canadá; IV. Sur de México y Guatemala; V. Países Andinos (Colombia, Ecuador, Peru y Chile), y VI. Sur de Brasil, Norte de Argentina, Paraguay y Uruguay.

5) Los países andinos: Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Se trata del área situada al Oeste de los Andes. También pudiera haber zonas subepidemiológicas dentro de esa área general.

6) Áreas que comprenden el Sur de Brasil, Norte de Argentina, Uruguay y Paraguay, donde las royas del tallo y de la hoja son las principales enfermedades del trigo.

1. GRANDES PLANICIES DE NORTEAMERICA

A. Estudios sobre aerobiología de las royas en Canadá

Las barreras geográficas figuran entre los factores importantes que determinan la distribución de las razas fisiológicas. En Canadá existen dos barreras de este tipo: las Montañas Rocosas que separan la Provincia de Columbia Británica de las Provincias de las Praderas; y la extensa superficie forestal y lacustre que separa las Provincias de las Praderas de los terrenos cultivables del Este de Canadá. En cierto grado, ambas actúan como barreras que interfieren con la diseminación de las razas de roya.

Craigie ((6) estudió en el Oeste de Canadá la relación entre los diversos factores que influyen en el incremento de la roya y la cantidad de roya presente cada año durante el período de 1926 a 1939. Ningún factor por sí solo se consideró como responsable principal de la abundancia o escasez de roya. Sin embargo, entre los factores estudiados, Craigie encontró que la presencia temprana de abundante inóculo de roya, abundante humedad —particularmente durante el mes de julio— y la siembra tardía estaban asociadas con años de fuertes epidemias de roya. Por otra parte, las altas temperaturas en el verano se asociaron menos estrechamente con el desarrollo severo de las royas. Craigie concluyó que el inóculo inicial consiste en gran parte, si no es que completamente, de esporas acarreadas por el viento procedentes de lugares situados fuera de las Provincias de las Praderas de Canadá. Localmente hay ausencia virtual de fuentes de infección. La enfermedad aparece primero en forma regular en el Sur de Manitoba —con mayor frecuencia en el Red River Valley— y posteriormente más al Norte y al Oeste. La época de aparición en Manitoba es a fines de junio o principios de julio, en tanto que en Alberta aparece por lo menos un mes más tarde. En todos los distritos siempre se han encontrado esporas en el aire antes que infecciones en el campo.

Peterson, 1958 (39), indicó los siguientes factores que determinan el curso del desarrollo de la roya:

1) La cantidad y época del arribo de inóculo arrastrado por el viento que inicia la roya cada primavera en el Oeste de Canadá; 2) el grado de resistencia a la roya de las variedades sembradas; 3) la cantidad y la distribución de la lluvia y la intensidad del rocío durante el ciclo del cultivo (de abril a agosto inclusive); 4) la temperatura durante el ciclo del cultivo, y 5) la época de siembra del cultivo. Dicho investigador concluyó que todos estos factores deben presentarse y algunos por lo menos deben ser operativos en el curso del ciclo de cultivo y deben registrarse sobre vastas

superficies de las grandes planicies de Norteamérica en años en que ocurren fuertes epifitias de roya en el Oeste de Canadá.

Green (10) señala que el desarrollo de la roya del tallo se inicia en el Oeste de Canadá cada primavera vía el inóculo procedente del Sur acarreado por el viento. Las condiciones climáticas y las variedades que se siembran en los Estados Unidos ayudan a determinar la clase y la cantidad de inóculo primario. De manera semejante, el desarrollo de roya en Canadá influye sobre las razas que se presentan durante los meses de invierno y principios de primavera en el Sur de los Estados Unidos. De aquí retorna a Canadá inóculo de las razas que predominaron allá en el año anterior. Por consiguiente, las razas encontradas en el sondeo canadiense de razas son indicativas de cuáles pueden sobrevivir en las variedades hospederas y condiciones climáticas desfavorables durante su emigración anual. Por ello, es probable que sean las componentes principales de la población de royas de Norteamérica.

B. Caso histórico: Aerobiología y epifitias sobre el área que abarca el Norte de México, la Cuenca del Mississippi de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá

En su libro *Principles of Plant Pathology**, Stakman y Harrar (45) presentan clara y sistemáticamente todos los estudios aerobiológicos y las epifitias registradas en las grandes planicies de Norteamérica durante un periodo de 50 años. En otra publicación de Hamilton y Stakman (11), se presenta con más detalle una historia semejante. Se han publicado además muchos otros informes de epifitias importantes de royas del tallo y de la hoja registradas en diversas regiones de la extensa Cuenca del Mississippi y en las cuales se detallan datos aerobiológicos, meteorológicos y epidemiológicos (1, 19, 38, 3, 28, 27, 20, 32, 33, 35, 36, 2). Lambert (22), en una voluminosa publicación detalló la relación del clima con el desarrollo de la roya del tallo en el Valle del Mississippi.

Los párrafos siguientes aluden brevemente a ciertas historias de caso basadas en los estudios de epifitias que redujeron catastróficamente la producción de trigo. Mencionan también los datos aerobiológicos compilados después, datos que se esperaban constituyesen la base para lograr medios de control eficaces.

México, la Cuenca del Mississippi de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá conforme una área excepcionalmente adecuada para estudiar la diseminación de esporas de roya. El trigo se siembra desde el Centro-Sur de México hasta las Provincias de las Praderas de Canadá, una distancia de 4,000 kilómetros aproximadamente. Dentro de esta área tan extensa y con marcadas diferencias de latitud y altitud, durante todo el año pueden encontrarse plantas de trigo, cebada o pastos silvestres susceptibles. No existen barreras topográficas eficaces entre el Norte y el Sur. El viento, por tanto, tiene un amplio campo para moverse libremente.

* Edición castellana, Principios de Patología Vegetal (Buenos Aires: EUDEBA, 1963)

Hay movimientos de masas de aire de Sur a Norte y de Norte a Sur, y a menudo acarrear a miles de kilómetros y en unos cuantos días un gran número de esporas y otras partículas minúsculas.

Durante la primera mitad del presente siglo, la roya del tallo atacó con tanta frecuencia y destructividad el área de trigo de primavera del Norte de los Estados Unidos y las Provincias de las Praderas de Canadá, que se hizo imperativo localizar la fuente de roya a fin de establecer medidas de control. Se iniciaron estudios poco después de la destructiva epifitía de 1904, y en Minnesota, en 1909, comenzaron a efectuarse observaciones y experimentos más detallados. El alcance de este estudio se amplió luego, de manera que se lograron más adelantos antes de la epifitía de 1916. Inmediatamente después de este desastre económico, en la primavera de 1917 se iniciaron investigaciones epidemiológicas sobre una amplia base regional; desde entonces se han efectuado continuos estudios por parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en cooperación con la Estación Experimental de Minnesota y otros centros de investigación agrícola. Las investigaciones cooperativas con la Secretaría de Agricultura de México y los estudios similares realizados por investigadores canadienses han aclarado los rasgos generales del desarrollo de la roya en Norteamérica y comprobado que el viento es el responsable de la amplia y rápida diseminación del inóculo.

Las amplias diseminaciones de roya del tallo de 1923, 1925 y 1935. En 1923 la roya se desplazó del Norte de México y del Sur de Texas hacia Canadá en cinco oleadas sucesivas en tan sólo dos meses. Esto resultó evidente con la captura sistemática de esporas en 38 estaciones, de observaciones directas sobre la secuela del desarrollo de las royas y sobre la distribución de las razas fisiológicas 11, 17 y 21 a través del área.

Debido a las temperaturas frías, el desplazamiento de la roya del tallo hacia el Norte fue más lento en 1923 que en 1924. La roya tardó tres meses para llegar, en siete oleadas sucesivas, desde el Norte de Texas hasta el Canadá. Empero, en ocasiones la roya se desplaza más rápidamente que en 1923 y 1924, y tal fue el caso en 1925.

El rasgo esencial del desarrollo de la roya en 1925 fue el hecho de que las esporas se diseminaran en pocos días desde una región "royosa" a una región libre de roya de más de 650 mil kilómetros cuadrados. Una densa nube de esporas se desplazó casi 1,000 kilómetros hacia el Norte sobre una frente de más de 600 kilómetros. En 1925, la roya escribió su propia historia aerobiológica con extraordinaria lucidez y claridad. En esta área se han registrado desplazamientos y ataques de roya más catastróficos, pero pocos fueron tan claramente definidos como los de 1925. De hecho, la superficie triguera ubicada al Norte de Kansas fue en ese año como un gran plato de agar en el cual el número de colonias de hongos decrecía conforme aumentaba la distancia a partir de una fuente determinada de esporas.

Desde el punto de vista aerobiológico, la epifitía de roya del tallo registrada en 1935 en los Estados Unidos y Canadá es especialmente



Fig. 3 Estaciones de exposición de portaobjetos que había en 1955 en los Estados Unidos para determinar el desplazamiento aéreo de las esporas (Foto: USDA)

importante porque el trabajo de zapa en la superficie, o el trabajo aéreo, se realizó en el otoño de 1934, cuando las esporas fueron acarreadas hacia el Sur desde el Norte de los Estados Unidos el 10 de octubre y otra vez del 10. al 12 de noviembre. Estos desplazamientos de Norte a Sur fueron seguidos por lluvias, de manera que se infectó el 64% de los campos de trigo de invierno de Oklahoma. En Texas, el estado uredial sobrevivió el invierno solamente en la cebada, de modo que había poca roya hacia principios de la primavera. Más tarde, con las lluvias superabundantes registradas en mayo en el Norte de Texas y con una maduración excepcionalmente tardía del trigo, se produjo un extraordinario desarrollo de la roya. Las condiciones climáticas también favorecieron el desarrollo de la roya en las regiones de trigo de primavera, y una de las peores epifitias que se hayan registrado destruyó casi cinco millones de toneladas de trigo en Minnesota, Dakota del Sur y Dakota del Norte, pese al hecho de que la hasta entonces variedad resistente Ceres había reemplazado en gran parte a la variedad susceptible Marquis. en esa región. El principal patógeno involucrado fue la raza 56.

Debido a la necesidad obvia de conocer si las razas de roya encontradas en un país o región pueden llegar a establecerse en otro, son

esenciales estudios sistemáticos y continuos sobre la diseminación de esporas. Siempre existe la interrogante con respecto a lo adecuado del muestreo como base para lograr generalizaciones válidas. No obstante, los estudios efectuados durante 40 años en los Estados Unidos y durante 35 años en México, indican que entre las regiones trigueras algunas razas se intercambian frecuentemente, algunas ocasionalmente y otras raramente. El intercambio de razas de la roya del tallo del trigo entre el Norte de México, los Estados Unidos y Canadá —en una zona ubicada a grosso modo entre los 90° y los 100° de longitud, o poco más—, ocurre en tantos ciclos de cultivo que pudiera considerarse normal. Sin embargo, parece que no se registran ordinariamente desplazamientos Este-Oeste y viceversa, a través de sistemas montañosos como las Montañas Rocallosas.

C. Historia de la raza 15B y la destructiva epifitia de roya del tallo en 1950

El Dr. E. C. Stakman (47) en sus recomendaciones a la Fundación Rockefeller y al CIMMYT con respecto a la necesidad de sostener campañas intensas e integrales contra plagas y patógenos de las plantas cultivadas, citó dos casos históricos para ilustrar el origen y la amplia diseminación de nuevas razas en Norteamérica: la raza 56, responsable de la epifitia de roya del tallo registrada en 1935 en los Estados Unidos, el Norte de México y el Sur de Canadá, y la raza 15B, responsable de las epifitias que asolaron las grandes planicies de Norteamérica en 1950 y 1954.

En el siguiente párrafo se ilustra la historia de la raza 15B en relación con la epifitia de 1950. En su recomendación, el Dr. Stakman indica que la raza 15B de la roya del tallo del trigo constituyó la explosión súbita, inesperada, simultánea y catastrófica de una raza fisiológica virulenta que afecta al trigo. En los Estados Unidos, esta raza se colectó por primera vez de agracejos *Berberis vulgare* infectados, en Iowa, en 1939. Después se encontró ocasionalmente, en especial cerca de o en agracejos en la región Nororiental de los Estados Unidos. Empero, antes de 1950, nunca se estableció fuera del área de agracejos y, en efecto, parecía que carecía de una buena capacidad de supervivencia. Pero en 1950 probó tenerla. Por dos años sucesivos previos a 1950, la raza 15B se había encontrado solamente en áreas de agracejos a miles de kilómetros de donde apareció en Texas en la primavera de 1950.

La evidencia circunstancial destacó que la fuente de la roya aparecida en Texas era el área de agracejos del Este de los Estados Unidos. Luego la roya de desplazó claramente de Texas hacia el Norte a través de más de 2,000 kilómetros, antes de que terminara el ciclo de cultivo en el Norte. En el Norte de los Estados Unidos y en el Sur de Canadá la roya causó fuertes daños a las siembras tardías de variedades de trigo que habían sido casi inmunes a la roya por una década o más. Las masas de aire otoñal acarrearón luego nubes de esporas hacia el Sur para infectar el trigo sembrado en el otoño en el Sur de los Estados Unidos y en México, regiones donde la roya sobrevivió en el estado uredial durante el invierno de 1950-51. Enseguida se desplazó de nuevo hacia el Norte por más de 2,500 kilómetros en la primavera y el verano de 1951, y constituyó el 40% de los



Fig. 4. Movimiento hacia el Norte de las esporas de roya del trigo en los Estados Unidos (Foto:USDA).

1,000 aislamientos de roya del tallo identificados en los Estados Unidos en ese año.

Por tanto, entre la primavera y el verano, la raza 15B viajó por lo menos 6,000 kilómetros: primero unos 1,700 kilómetros desde el área de agrajeo del Noroeste hasta Texas, y luego más de 2,000 kilómetros hacia el Norte, a través de los Estados Unidos y el Sur de Canadá, y finalmente unos 3,000 kilómetros hacia el Sur y Suroeste, desde Canadá y el Norte de los Estados Unidos hasta el Sur de los Estados Unidos y México. Hacia el Norte, la roya se desplazó a una distancia equivalente a la que existe entre Estambul y Helsinki, y hacia el Sur a una distancia semejante a la de Finlandia a Chipre. La superficie que infectó la raza 15B en 1950 fue de unos 5 millones de kilómetros cuadrados.

Stakman y Rodenhiser (46) señalan que la raza 15B de la roya del tallo del trigo ha llegado a ser notoria para todos los que se interesan en el mejoramiento de trigo en Norteamérica. En 1950 esta raza extendió su cobertura geográfica de súbito y sin aviso a la mayor parte de

Norteamérica, su prevalencia aumentó abrupta y alarmantemente, atacó a variedades de trigos harineros y cristalinos antes resistentes, demostró ser de composición compleja, y desde entonces es uno de los principales obstáculos para la obtención de variedades resistentes de trigo. Que la raza 15B se llegara a establecer finalmente en una vasta superficie no es sorprendente en sí; lo sorprendente es que se incrementara y se diseminara tan súbitamente y de manera tan espectacular en un solo ciclo de cultivo, después de que se la había observado con cuidado durante la década previa, sin que hubiera mostrado tendencia alguna a incrementar su prevalencia o a extenderse geográficamente.

II. PACIFICO-NOROESTE DE NORTEAMERICA: AREA UBICADA AL OESTE DE LAS MONTAÑAS ROCALLOSAS.

La roya lineal (*Puccinia striiformis*) es la principal enfermedad en el Pacífico Noroeste de los Estados Unidos (California, Oregon, Washington). De acuerdo con la opinión aceptada, este hongo es capaz de resistir extensos periodos de temperaturas bajo cero, pero no tolera periodos prolongados de temperaturas altas. La tendencia del hongo a decrecer y de hecho a desaparecer durante los meses cálidos, plantea la interrogante de dónde, cómo y bajo cuáles circunstancias sobrevive al verano. Cuidadas investigaciones de esta fase de la biología de *Puccinia striiformis* realizadas en el Hemisferio Oriental, han revelado los diversos modos de cómo el hongo sobrevive en el verano. En la India y en algunos países de Africa, esto lo logra en elevaciones altas (25, 26 y 23).

En el Pacífico Noroeste el periodo de julio a septiembre es crítico en el ciclo vital de la roya lineal. Bajo la influencia del clima cálido y seco que prevalece en la época en que el trigo llega a la madurez, los pastos típicamente se tornan de color café y muy pocas plantas de trigo se encuentran sobreviviendo en gran parte de la superficie triguera de la cuenca del Río Columbia. De manera concomitante, la roya lineal virtualmente desaparece en las elevaciones bajas.

En 1923, Hungerford (16) investigó la supervivencia en verano de la roya lineal en Corvallis, Oregon. Observó condiciones similares a las descritas antes y reportó que el periodo desde el 20 de julio hasta el periodo otoñal de lluvias se caracterizaba por poca o ninguna infección de roya.

Hendrix y colaboradores (13) observaron algunos casos raros en que la roya lineal "veraneaba" en trigo de invierno sembrado en la primavera y empleado como cultivo de cobertura en la parte central del Estado de Washington.

Tollenaar y Houston (49) encontraron que la roya lineal "veraneaba" en la Sierra Nevada a altitudes de 2,000 metros sobre el nivel del mar o mayores, en pastos silvestres como *Elymus* spp., *Hordeum* spp. y *Sitanion* spp. La semejanza de los tipos de infección de los aislamientos de roya

lineal de varias localidades y hospederos sobre una serie diferencial de cultivares de trigo sugieren que en California prevalece sólo una raza de *Puccinia striiformis*. Una temperatura media de 22.3°C o una temperatura media máxima de 32.4°C medidas sobre un periodo total de 10 días es letal para la roya lineal, y por tanto contribuye a la ausencia de este hongo durante el verano en todas las regiones de California, excepto en la Sierra Nevada y en el área costera. En las postrimerías del otoño, se inicia la recurrencia de la roya en las áreas trigueras cuando los vientos del Este acarrean urediosporas de la Sierra Nevada hacia la parte central del Valle de Sacramento-San Joaquín, e infectan plantas de trigo remanentes y trigo de siembras tempranas.

Shaner y Powelson (4) investigaron los posibles reservorios veraniegos de inóculo que se encuentran en Oregon: 1) trigo verde residual, 2) pastos perennes. Se encontró roya durante el verano en trigo verde residual, aunque no en abundancia. En los pastos, la roya apareció a fines de la primavera y desapareció en el verano tan pronto —o antes— de que la roya desapareciera en el trigo. Los pastos de elevaciones altas se han sugerido como hospederos de verano de *Puccinia striiformis* (13, 49); sin embargo, en el Norte de Oregon se encontró roya menos frecuente en pastos de altas elevaciones que en pastos de terrenos trigueros. Por tanto, Shaner y Powelson piensan que los pastos de las montañas no son importantes en la epidemiología de esta enfermedad en el trigo, en contraste con lo que otros investigadores han concluido (13, 49). Los pastos de las zonas trigueras pudieran ser también de poca importancia en la epidemiología de la roya lineal en el trigo. Si los pastos que rodean los campos de trigo hubiesen sido la fuente primaria de inóculo en el otoño, se hubieran podido observar las primeras infecciones cerca de los límites de los campos. Sin embargo, las infecciones iniciales estaban dispersas por todo el terreno.

El estudio histórico de la aerobiología, tal como el realizado con la roya del tallo en las grandes planicies de Norteamérica, es relativamente limitado en el caso de la roya lineal del tallo. Esto resulta del hecho que las trampas mecánicas para capturar esporas son de poca utilidad para estudiar los desplazamientos aéreos de las urediosporas, puesto que éstas no se distinguen visualmente de las urediosporas de otras royas. Sin embargo, el Ensayo Internacional de Roya Lineal, coordinado por R. W. Stubbs, de Holanda; —esencialmente en viveros trampa— ha dado buena información sobre los patrones de virulencia de poblaciones de roya lineal en áreas geográficas específicas.

Zadoks (52), al utilizar los resultados del Ensayo Internacional de Roya Amarilla y las identificaciones subsecuentes de razas de roya hechas en Graunschweig, mostró que una raza de roya lineal (Tupe Heines VII) se diseminó sobre amplias zonas del Norte de Europa, cubriendo distancias hasta de 800 kilómetros para dar lugar a la epifitía de 1956. No se dispone de datos sobre tal diseminación aérea para reforzar la hipótesis de que toda la región del Pacífico Noroeste de Norteamérica se puede considerar como una zona epidemiológica. Sin embargo, algunos datos del análisis de

virulencia de roya lineal, basado en 50 variedades, tomados del 5º. ensayo internacional de Rendimiento de Trigos de Primavera indican una correlación muy alta de virulencia entre las razas de roya en California y Washington. De 50 variedades, 40 mostraron una reacción de campo idéntica en ambas localidades. Debido a esta semejanza de virulencia sobre las variedades índice, es probable que la misma o las mismas razas fisiológicas operen en ambas áreas. Se ha sugerido que la roya lineal sobrevive en el verano en las altas elevaciones de la Sierra Nevada (California), Montañas Azules (Washington y Noroeste de Oregon), Montañas de las Cascadas (cadenas de montañas que se extiende hacia el Sur a través de la región central del Estado de Washington, desde Canadá hasta Oregon), y el Bosque Nacional de Nez Perce (Idaho). El inóculo de roya prevalente en estas localidades infecta el trigo en los valles, y luego retrocede hacia las montañas cuando llega el verano.

Sobre la base de que las esporas de la roya lineal no pueden desplazarse a grandes distancias y permanecer viables, se ha postulado que pudieran existir muchas zonas epidemiológicas en el Pacífico Noroeste, cada una ubicada cerca del centro de los sitios de "veraneo" de la roya.

III. ESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS Y CANADA (AREAS UBICADAS AL ESTE DE LOS MONTES ALLEGHANYS EN LOS ESTADOS UNIDOS Y DE LA BARRERA LAURENTINA EN CANADA)

Al estudiar razas de roya de la hoja en el período de 1931 a 1955, Johnson (17) concluyó que en Canadá hay tres zonas epidemiológicas: 1) La Provincia de Columbia Británica; 2) Las Provincias de las Praderas, y 3) El Este de Canadá. Las razas I y II de roya de la hoja, predominantes en Columbia Británica, se encontraron raramente en las regiones orientales de las Provincias de las Praderas, pero en ciertos años acurrieron con frecuencia en el Sur de Alberta. Puesto que el área en que se encuentran estas razas es una extensión de la faja de trigo de invierno que penetra hacia Canadá, no está claro si la presencia de estas razas se debe a esporas aerodesplazadas a través de las montañas, o es solo el resultado de una diseminación hacia el Norte de la flora "royosa" congenial con las variedades de trigo que se siembran en áreas juntamente ubicadas al este de las Montañas Rocallosas. Los Grandes Lagos y al área boscosa contigua forman sin duda una barrera eficaz contra la distribución de razas entre las Praderas y el Este de Canadá. Esta extensa zona sin cultivos es probablemente una de las razones de la escasez de las razas 58 y 76 en el Oeste de Canadá, las cuales han sido por largo tiempo las razas características del Este del Canadá y de las regiones adyacentes de los Estados Unidos.

IV. SUR DE MEXICO Y GUATEMALA

Según los análisis de genes de virulencia para la roya lineal y roya del tallo, el Valle de Toluca, en México, y el Valle de Xela, en Guatemala,

CUADRO 1. Resultados de cinco Ensayos Internacionales de Rendimiento que muestran la relación epidemiológica entre regiones trigueras con respecto a *Puccinia striiformis* y a *Puccinia graminis tritici*.

	1er. ISWYN 25 variedades Res. Suscept.		2o. ISWYN 25 variedades Res. Suscept.		3er. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		4o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		5o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.	
México-Guatemala (<i>P. graminis</i>)	24	0	—	—	33	3	—	—	35	3
México-Guatemala (<i>P. striiformis</i>)	12	9	—	—	23	17	24	9	33	7

mostraron una alta correlación. Los datos se presentan en el Cuadro 1. Respectivamente, 40, 33 y 40 entradas de las 50 variedades del Tercero, Cuarto y Quinto Ensayos Internacionales de Rendimiento de Trigos de Primavera (ISWYN), mostraron reacciones paralelas. Es evidente que muchos genes de virulencia son comunes en la población de roya lineal presente en ambos valles. Se obtuvieron resultados semejantes para la población de *Puccinia graminis tritici*. Venticuatro variedades de las 25 incluídas en el 1er ISWYN, 36 de las 50 de Tercer ISWYN, y 38 de las 50 del 5º. ISWYN, tuvieron reacciones similares con respecto a roya del tallo en ambas regiones (Cuadro 1).

Sugerimos nuevamente —aún careciendo de datos aerobiológicos y climatológicos— que el Sur de México y el altiplano de Guatemala comparten razas de roya comunes.

V. PAISES ANDINOS: COLOMBIA, ECUADOR, PERU Y CHILE: (REGIONES UBICADAS AL OESTE DE LOS ANDES).

La roya lineal es prevalente en todos los valles altos de la zona andina de Sudamérica. A menores altitudes prevalece la roya del tallo. No se han efectuado estudios aerobiológicos con objeto de correlacionar los datos meteorológicos y epidemiológicos de la roya del trigo en esta zona.

Hemos compilado datos de virulencia tanto para la roya lineal como para la roya del tallo a efecto de fundamentar nuestra hipótesis de que las regiones de Ecuador y Colombia son contiguas en lo que se refiere al inóculo de roya lineal y roya del tallo. Se dispone de datos de virulencia de cinco Ensayos Internacionales de Rendimiento de Trigos de Primavera que consistieron de 25 variedades en los dos primeros años y de 50 variedades en los últimos tres años. En el Cuadro 2 se presentan los datos de las reacciones a *Puccinia striiformis* West. Es interesante observar que existe una alta correlación entre los genes de virulencia de razas de roya lineal registradas en Colombia y Ecuador. De las 25 variedades incluídas en el primero y segundo ISWYN's, 16 y 19 variedades, respectivamente, mostraron una reacción paralela en ambos países. En el tercero, cuarto y quinto ISWYN's, donde se analizaron 50 variedades, 35, 38 y 35 entradas, respectivamente, tuvieron reacciones similares. Las bases genéticas de resistencia en estas variedades son muy diversas, puesto que representan variedades procedentes de regiones de los seis continentes donde el trigo es un cultivo importante.

Con esta evidencia, sugerimos que —aun careciendo de datos aerobiológicos—, todas las probabilidades parecen indicar que el espectro de virulencia genética es semejante para las razas de *Puccinia striiformis* West, comprendidas en el área geográfica de Ecuador a Colombia. El "veraneo" de la roya lineal sucede probablemente en los sitios más altos de las montañas que constituirían una fuente común de inóculo que se disemina a los campos de trigo de ambos países (comunicación personal de E. C. Stakman). El Dr. J. W. Gibler (comunicación personal), escribió que en

CUADRO 2. Resultados de cinco Ensayos Internacionales de Rendimiento que muestran la relación epidemiológica entre regiones trigueras con respecto a *Puccinia striiformis* y a *Puccinia graminis tritici*.

	1er. ISWYN 25 variedades Res. Suscept.		2o. ISWIN 25 variedades Res. Suscept.		3er. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		4o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		5o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.	
Colombia-Ecuador (<i>P. striiformis</i>)	10	6	12	7	20	15	20	18	18	17
Colombia-Ecuador (<i>P. graminis tritici</i>)	20	1	22	0	39	3	46	1	48	0

En 1962 se encontró una nueva raza de roya lineal en el Departamento de Nariño, Colombia — justo al Norte del Ecuador —, que atacaba a la variedad de trigo Nariño. Debido a la rotación de la Tierra, en el Hemisferio Norte los movimientos del aire son en el sentido de las manecillas del reloj, y viceversa en el Hemisferio Sur, pero el ecuador climatológico se mueve al Norte o al Sur dependiendo de la época del año y de las áreas de alta y baja presión que desarrolla. Gibler pudo seguir el movimiento de esporas hacia el Sur y hacia el Norte, al observar el ataque sobre la variedad Nariño en Ecuador (Sur) y en otras regiones trigueras de Colombia (Norte). Según recuerda, el ataque se desplazó primero a Ecuador e infectó la variedad en zonas tan sureñas como en las regiones de Cuenca y Loja. No fue sino hasta después cuando la raza se encontró en la Sabana de Bogotá y más al Norte, en la estación experimental de Bonza, cerca de Sogamosa. Asociada al mismo movimiento se observó la diseminación del virus de "enanismo", transmitido por la chicharrita *Cicadulina pastuscae*. En el Departamento de Nariño, Colombia, se encontraron variedades nativas de cebada que poseían resistencia y que indicaron que el virus había sido prevalente allí por varios siglos. El virus se encontró también en una región tan distante como Cuzco, Perú, pero nunca llegó a la Sabana de Bogotá, en el Norte, aún cuando allí se encontró el vector. En el Cuadro 2 se presentan también los datos referentes a la reacción a *Puccinia graminis tritici* para Ecuador y Colombia. Estos datos confirman la hipótesis propuesta con relación a *Puccinia striiformis* de que Colombia y Ecuador comparten razas semejantes de patógenos de roya, por lo que pueden considerarse una zona epidemiológica. De 25 variedades en el 1º. y 2º. ISWYN, 21 y 20 entradas, respectivamente, tuvieron reacciones paralelas. De manera semejante, 42, 47 y 48 entradas del 3º., 4º. y 5º. ISWYN, respectivamente, exhibieron reacciones semejantes tanto en Ecuador como en Colombia.

Los datos de Stubbs (48) del Ensayo Internacional de Roya Lineal para Ecuador, Perú, Chile y México, se presentan en el Cuadro 3. La información se basa en 14 variedades que tenían por lo menos 10 genes de resistencia contra la roya lineal. Sus datos colocan básicamente a Ecuador, Perú y Chile en una área epidemiológica, en sentido amplio. Conviene notar, sin embargo, que hay una mayor correlación entre los datos de Ecuador y Perú que entre Ecuador y Chile. Esto sugiere que aunque las razas chilenas y ecuatorianas de roya lineal llevan algunos genes similares de patogenicidad, son menos semejantes que las razas de Ecuador y Colombia. El Dr. Gibler (comunicación personal) señala que en el Perú existen más razas de roya del tallo que en cualquier otro lugar del mundo, con la posible excepción de Kenya. No obstante, esta amplia gama de razas no se ha encontrado nunca hacia el Norte de Ecuador y Colombia, ni se disemina hacia el Sur a Argentina, Brasil o Chile. En esta región existe una amplia franja donde se siembra muy poco trigo. La roya del Perú no se desplaza ordinariamente al Norte, hacia Ecuador debido posiblemente a los movimientos del viento.

Sobre la base del análisis y de la interpretación anteriores, sugerimos que allí existen dos o posiblemente tres zonas subepidemiológicas con

Cuadro 3. Reacción específica de doce cultivares diferenciales de trigo en cuatro países, al ataque de roya lineal o amarilla

Puccinia striiformis*

	Heines Kolben Yr 6	Lee Yr 7	Chinese 166 Yr 1	Moro (PR 178383) Yr 8	Compair (Aeg. comosa) Yr 8	Swong 92 Omar Yr	Vilmorin 23 Yr	Strubes Dick koph	Casterns V	Spaldings prolific	Heines VII Yr 2	Hybrid 46 Yr 4	Selkirk	Michigan Amber
Ecuador	S	R	S	R	R	S	S	S	S	S	S	R	R	S
Perú	S	R	S	R	R	S	S	S	S	S	S	R	S	S
Chile	S	S	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	R	S
México	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S

* Tomado de Stubbs, R. W. Regional Wheat Workshop, Beirut, Líbano, 1972. ALAD, The Ford Foundation.

CUADRO 4. Resultados de cuatro Ensayos Internacionales de Rendimiento que muestran la relación epidemiológica entre regiones trigueras con respecto a *Puccinia recondita*

	3er ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		4o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		5o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.		6o. ISWYN 50 variedades Res. Suscept.	
Argentina-Brasil	—	—	—	—	27	7	24	11
Argentina-Uruguay	28	13	—	—	—	—	—	—
México-Argentina	16	10	17	6	—	—	11	16

respecto a la roya del trigo; una ocurre en Ecuador y Colombia, otra en Perú y una tercera en Chile.

VI. AREAS QUE COMPRENDEN EL SUR DE BRASIL, EL NORTE DE ARGENTINA Y PARAGUAY

En carta personal, el Dr. Gibler señala que las razas de roya del tallo 11, 15 y 17 y sus subrazas son comunes en Brasil y en Argentina. Se dispone de evidencia indirecta de los movimientos del viento a partir del patrón de ataque del áfido *Macrosiphum avenae* y de otras especies. En 1971 hubo movimientos de áfidos de Argentina a Brasil y a Paraguay. Se puede derivar evidencia adicional del movimiento de roya lineal en Argentina y Brasil. Cada año se encuentra roya lineal en áreas frías de Argentina como Bolsón, cerca de Bariloche. En años fríos, la roya lineal se extiende al Norte, y cuando en Argentina se registran epifitias fuertes, la roya del tallo es muy prevalente en Brasil.

Hemos analizado la reacción varietal a la roya de la hoja del trigo en 50 entradas del 3°. 4°. y 5°. ISWYN (Cuadro 4), para apoyar nuestra hipótesis de que las áreas del Sur de Brasil, Argentina (y por inferencia Paraguay y Uruguay) constituyen una sola zona epidemiológica. En el Cuadro 4, se muestra que 34 y 35 variedades de 50 del 3°. y 4°. ISWYN, respectivamente, tuvieron reacciones semejantes en Argentina y Brasil.

REFERENCIAS

1. ATKINS, I.M. 1936. Ecological factors in North Texas related to the 1935 stem rust epidemic. *Plant Disease Reporter*, Supplement 93: 31-41.
2. BROWDER, L.E., JOHNSTON, C.O. and PADY, S.M. 1961. Cereal Rust Epidemiology in Kansas in 1959. *Plant Disease Reporter*, Vol. 45: 894-898.
3. CHESTER, K.S. 1939. The 1938 wheat leaf rust epiphytotic in Oklahoma. *Plant Disease Reporter*, Supplement 112: 1-18.
4. CHRISTENSEN, J.J. 1942. Long distance dissemination of plant pathogen. In *Aerobiology*. Publ. Am. Assoc. Adv. Sci. No. 17: 78-87.
5. CRAIGIE, J.H. 1940. Aerial dissemination of plant pathogen. *Proc. Sixth Pac. Sc. Cong.*, 1939 4: 753-767.

6. CRAIGIE, J.H. 1945. Epidemiology of stem rust in Western Canada. *Sci. Agr.* 25: 285-401
7. FUTREL, M.C. 1957. Wheat stripe rust epiphytotic in Texas 1957. *Plant Disease Reporter* 41 (12) 955-957.
8. FUTREL, M.C., LAHR, K.A., PORTER, K.B. and ATKINS, I.M. 1959. Second stripe rust epiphytotic in Texas hits wheat crop in 1958. *Plant Disease Reporter* 43 (2) 165-167.
9. GOUGH, F.J., WILLIAMS, N.D., and BRENTZEL, W.E. 1959. Occurrence of strip rust in North Dakota in 1958. *Plant Disease Reporter* Vol. 43 (2) 169-171.
10. GREEN, G.J. 1971. Physiologic races of wheat stem rust in Canada from 1919 to 1969. *Canadian Journal of Botany* 49 (No.9) 1575-1588.
11. HAMILTON, L.M. and STAKMAN, E.C. 1966. Time of stem rust appearance on wheat in the Western Mississippi Basin in relation to the development of epidemics from 1921 to 1962. *Phytopathology* Vol. 57: 609-614.
12. HASSEBRAUK, K.N. 1965. Geographische Verbreitung und Wirtsbercith des Gelbrostes, *Puccinia striiformis* Wes. *Mitt. Biol. Bundesanstalt Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem*, 116, 1-75.
13. HENDRIX, J.W., BURLEIGH, J.R. and LUI-CHANG TU. 1965. Oversummering of stripe rust at high elevations in the pacific Northwest 1963. *Plant Disease Reporter* 49: 275-278.
14. HENNEN, J.F. and KOMANEŠTSKY, M. 1959. Stripe rust in South Dakota in 1958. *Plant Disease Reporter* Vol. 43 (2) 168-169.
15. HUMPHREY, H.B., HUNGERFORD, C.W. and JOHNSON, A.G. Stripe rust *Puccinia glumarum* of cereals and grasses in the United States. *J. Agr. Res.* 29, 209-227 (1924).
16. HUNGERFORD, C.W. 1923. Studies on the life history of stripe rust *Puccinia glumarum* (Schom.) Eriks. and Henn. *J. Agr. Research* 24: 607-620.
17. JOHNSON, T., 1956. Physiologic races of leaf of wheat in Canada 1931 to 1955. *Canadian Journal of Agricultural Science* 36: 371-379.
18. JOHNSON, T., GREEN, G.J. SAMBORSKI, D.J. 1967. The world situation of the cereal rusts. *Annual Review of Phytopathology* 5: 183-200.
19. JOHNSTON, C.O., MELCHERS, L.E., LAUDE, H.H. and PARKER, J.H. 1936. The stem rust epidemic of 1935 in Kansas. *Plant Disease Reporter*. Supplement 32: 19-30.
20. JOHNSTON, C.O. MELCHERS, I.E. and MILLER, J.O. 1938. The wheat stem rust epidemic of 1937 in Kansas. *Plant Disease Reporter*. Supplement 107: 83-94.
21. KLEBAHN, H. Die wirtswechselnden Rostpilze. 447 pp. 1904.
22. LAMBERT, E.B. 1929. The relation of weather to the development of stem rust in the Mississippi Valley. *Phytopathology* XIX: 1-71.

23. LATHBURY, R.J. 1934. Report of the acting senior plant breeder. Report. Dept. Agr. Kenya. 1933-34: 182-200.
24. LEPPIK, E.E. 1961. Some viewpoints on the phylogeny of rust fungi IV. Stem rust genealogy. *Mycologia* 53, 378-405.
25. MEHTA, K.C. 1929. The annual recurrence of rusts on wheat in India. (Presidential address). Proc. 16th Indian Science Cong., Madras. India.
26. MEHTA, K.C. 1939. Report of the Imperial Council of Agricultural Research for 1938-1939. Chapter III. Wheat and other cereals research. Imperial Council Agr. Research Ann. Rept. 1938-39: 7-10.
27. MELCHERS, L.E., JOHNSTON, C.O. 1939. The wheat stem and leaf rust epidemics of 1938 in Kansas. *Plant Disease Reporter*, Supplement 116: 51-68.
28. MELCHERS, L.E. 1941. The wheat stem rust epidemic of Kansas in 1940. *Plant Disease Reporter*. Supplement 132: 95-103.
29. MICHELI, P.A. *Nova Plantarum Genera*. 234 pp. 1729.
30. MILLER, J.D. and CHRISTENSEN, J.J. 1959. Occurrence of stripe rust in Minnesota in 1958. *Plant Disease Reporter* Vol. 43 (2) 159.
31. OLIVIERA, B.D., SAMBORSKI, D.J. 1966. Aerial stage of *Puccinia recondita* on Ranunculaceae and Boraginaceae in Portugal. Cereal Rust Conference, Cambridge, 1964, 133-50 (Plant Breeding Institute, Cambridge).
32. PADY, S.A. and JOHNSTON, C.O. 1955. The concentration of airborne rust spores in relation to epidemiology of wheat rusts in Kansas in 1954. *Plant Disease Reporter* 39: 463-466.
33. PADY, S.M. and JOHNSTON, C.O. 1956. Cereal rust epidemiology and aerobiology in Kansas in 1956. *Plant Disease Reporter* 40: 1061-1064.
34. PADY, S.M., JOHNSTON, C.O. and ROGERSON, C.T. 1957. Stripe rust of wheat in Kansas in 1957. *Plant Disease Reporter* Vol. 41 (12) 959.
35. PADY, S.M. and JOHNSTON, C.O. 1958. Cereal rust epidemiology and aerobiology in Kansas in 1957. *Plant Disease Reporter* 42: 726-733.
36. PADY, S.M. and JOHNSTON, C.O. 1959. Cereal rust aerobiology and epidemiology in Kansas in 1958. *Plant Disease Reporter* 43: 607-611.
37. PADY, S.M. and JOHNSTON, C.O. 1959. Stripe rust in Kansas in 1958. *Plant Disease Reporter* Vol. 43 (2) 159-162.
38. PELTIER, G.L., YOUNT, M. and SUNESON, C.A. 1936. The stem rust epidemic of 1935 in Nebraska. *Plant Disease Reporter*. Supplement 91: 1-18.
39. PETURSON, B. 1958. Wheat rust epidemics in Western Canada in 1953, 1954 and 1955. *Canadian Journal of Plant Science* 38: 16-28.

40. PREVOST, B. *Memorie sur la cause immediate de la carie ou charbon des blés, et de plusieurs autres maladies des plantes, et sur les préservatifs de la carie.* 1807. (Eng. trans. by G.W. Keitt, published as *Phytopathology ...* No. 6 1939).
41. SHANER, G. and POWELSON, R.L. 1973. The oversummering and dispersal of inoculum of *Puccinia striiformis* in Oregon. *Phytopathology* 63: 13-17.
42. STAKMAN, E.C. 1940. Wind dissemination of plant pathogens (Abstr.), Third Int. Cong. Microbiology, Proc. 272-273.
43. STAKMAN, E.C. 1942. The field of extramural aerobiology. In *Aerobiology*. Publ. Am. Assoc. Adv. Sci. No. 17: 1-7.
44. STAKMAN, E.C. and CHRISTENSEN, C.M. 1946. Aerobiology in relation to plant diseases. *The Botanical Review* Vol. XII (No. 4) 205-253.
45. STAKMAN, E.C. and HARRAR, J.G. 1957. *Principles of Plant Pathology*. N. York: The Ronald Press Company, 207-257 (Edición en español: *Principios de Patología Vegetal*. Buenos Aires: EUDEBA, 1963).
46. STAKMAN, E. C. and RODENHISER, H.A. 1958. Race 15B of wheat stem rust, what is it and what it means. *Advances in Agronomy*. 10: 143-165.
47. STAKMAN, E.C. 1969. The need for intensified and integrated campaigns against pests and pathogens of economic plants. Special Report to the Rockefeller Foundation 47 pp. The Rockefeller Foundation, New York, N.Y.
48. STUBBS, R.W. 1972. The international survey of virulence of *Puccinia striiformis* virulence patterns in the Middle East and Africa and potential sources of resistance. *Regional Wheat Workshop*. The Ford Foundation, Beirut, Lebanon. Vol. 1.
49. TOLLENAAR, H. and HOUSTEN, B.R. 1967. A study of the epidemiology of stripe rust, *Puccinia striiformis* West., in California. *Canadian Journal of Botany* 45: 291-307.
50. YOUNG, H.C. Jr., and BROWDER, L.E. 1957. Occurrence of stripe rust in Oklahoma in 1947. *Plant Disease Reporter* Vol. 41 (12) 958-959.
51. YOUNG, H.C. Jr., SAARI, E.E., and CURTIS, B.C. 1965. The potential function of native *Thalictrum* species as an alternate host of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology*, 55, 502 (abstract).
52. ZADOKS, J.C. 1961. Yellow rust on wheat. *Studies in epidemiology and physiologic specialization*. Overdruk ULT: Y. P1. *Zickten*, 67: 69-256.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las siguientes personas:

Al Dr. R. Glenn Anderson, por sus sugerencias críticas y su invaluable ayuda en la revisión del manuscrito.

Al Ing. Gabriel Terán, del Ecuador, por la tabulación de los datos y la preparación de algunos cuadros.

A todos los colegas de Norteamérica y Sudamérica por su respuesta a nuestras solicitudes de información.

Se hace patente el agradecimiento especial a los Dres. John Gibler (Brasil), Mario Zapata (Colombia), Ignacio Ramírez (Chile), Ernesto Godoy (Argentina), C.O. Qualset (California, U.S.A.), L.E. Browder (Kansas, U.S.A.), John Rowell (Minnesota, U.S.A.), D.J. Samborski (Canadá), G.J. Green (Canadá) y Gene Saari (India), por el suministro de información valiosa y por sus comentarios sobre diversas secciones del presente documento. Igualmente, se agradece el permiso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para usar las ilustraciones de las páginas 6, 13 y 15.

