

LOS POLVILLOS O ROYAS DEL TRIGO: UN DESAFIO PARA LA CIENCIA, FRENTE AL AUMENTO DE LA POBLACION MUNDIAL¹

Wheat rusts, a challenge to Science, given the world population growth

Ernesto Hacke E.²

SUMMARY

Considering the world population growth and the great importance of wheat as a basic food, the need to increase the yield of this cereal is emphasized, due to the scarce possibilities of increasing substantially the area seeded each year. But the rusts are one of the most serious limitations for this endeavour.

Rusts cause enormous losses throughout the world, having the ability to generate new pathogenic forms that will attack the new originally resistant cultivars created by man.

As an alternative way to contribute to solve this problem, the use of multilineal and variety combinations is emphasized, following the approach suggested by CIMMYT. The author considers that this methods would enhance the efficiency of wheat variety improvement in Chile.

En 1965 se estimaba que las tres quintas partes de la humanidad estaban sub-alimentadas (Borlaug, 1965). A partir de entonces y hasta 1977 ha habido un ligero aumento en las disponibilidades de calorías y proteínas, del orden de 6 y 50/o, respectivamente (FAO, 1970, 1979). De todas maneras, ese pequeño aumento es totalmente insuficiente para satisfacer las necesidades crecientes de alimentos, como lo corrobora una información reciente de las Naciones Unidas, según la cual la disponibilidad de alimentos es tan crítica, que al año mueren 40 millones de personas por el hambre y falta de alimentos.

Basándose en Hanson, Borlaug y Anderson (1982), obtenemos la siguiente proyección:

Años	1650	1850	1930	1975	2015
Millones de habitantes	500	1.000	2.000	4.000	8.000

Estas cifras indican que en los 40 años que estamos viendo se está duplicando el número de seres humanos que hay que alimentar, cuando sólo hace 300 años se necesitó 200 años para producir tal aumento.

Entre los cereales, el trigo es el cultivo de mayor importancia, no sólo por la superficie que se destina a su siembra, sino también porque contribuye a la alimentación humana con más calorías y proteínas que cualquier otro cultivo (Hanson y otros, 1982).

En 1981 se sembraron alrededor de 240 millones de hectáreas de trigo, con una producción total que sobrepasa los 450 millones de toneladas métricas (FAO, 1981). En comparación con la superficie total de siembra de cereales, el trigo ocupó el 320/o de ella y su producción correspondió a un 27,50/o del total.

Si se considera que la superficie cultivada de trigo tiende a aumentar sólo en forma muy leve (10/o al año; FAO 1971 y 1981) y que existen escasas probabilidades que muchos países destinen nuevos terrenos a su cultivo, se llega a la conclusión que para producir más trigo y aliviar, en parte, la crisis mundial de alimentos, es necesario aumentar el rendimiento por unidad de superficie. Para alcanzar este propósito habría que mejorar todo lo referente a las prácticas agronómicas, ta-

¹ Recepción de originales: 20 de septiembre de 1983.

Trabajo presentado en las XXXIV Jornadas Agronómicas, 1983, Chillán, Chile. El autor agradece al Dr. René Cortázar y al Ing. Agr. Mario Mellado su valiosa colaboración en la revisión del manuscrito.

² Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

les como fertilización, riego, control de malezas, insectos y enfermedades y disponer de variedades cada vez más productivas.

Entre las enfermedades más importantes del trigo, los polvillos (o royas) de la caña (*Puccinia graminis tritici*), de la hoja (*P. recondita tritici*) y amarillo o estriado (*P. striiformis*) son, sin lugar a dudas, las que causan mayores pérdidas de la producción en el mundo, a la vez que son las de más difícil control.

En relación con las pérdidas causadas por los polvillos, se considera de interés señalar que en los EE.UU., solamente, *P. graminis*, *P. recondita* y *P. striiformis*, causaron una pérdida anual promedio, en el período 1951–1960, estimada en 1.680.000 toneladas métricas (Loegering, 1967).

Con respecto a Chile, podrían citarse las epifitias de extrema gravedad observadas en las localidades de Ovalle y Nancagua, en 1940 (Cortázar, 1947). Habría que mencionar, también, los severos ataques que sufrieron las sementeras de trigos candeales (*Triticum durum*, Desf) en cuatro provincias de la zona central, en 1951. La pérdida promedio se estimó, según Cortázar, en 40% de la producción total de trigos candeales (Stakman y Harrar, 1957). También, González (1966), Parodi (1966), Hacke (1980) y Hacke y Ramírez (1983) informan sobre severas epifitias observadas en distintas regiones del país, en fechas más recientes.

A fin de explicar la gran dificultad que existe para el control de los polvillos, es necesario partir de su naturaleza biológica. Los polvillos son hongos que revisten una gran complejidad. Comprenden una infinidad de razas fisiológicas y biotipos, morfológicamente semejantes pero patogénicamente diferentes. Los tres polvillos se multiplican asexualmente y *P. graminis* y *P. recondita*, además, sexualmente en huéspedes alternantes. Tienen una enorme capacidad para producir nuevas formas patogénicas, a través de reproducción sexual, mutación, heterocariosis y parasexualismo.

La reproducción sexual de *P. graminis* se realiza sobre diversas especies de los géneros *Berberis* y *Mahonia*, particularmente sobre *Berberis vulgaris*; la de *P. recondita*, sobre plantas de los géneros *Thalictrum*, *Lycopsis* y otros; respecto a *P. striiformis*, aún se desconoce sobre cual género se realiza (Loegering, 1967; Arentsen, 1947; Johnson, Green y Samborsky, 1967; Anikster y Wahl, 1979).

El cruzamiento entre dos razas da origen a un gran número de nuevas formas patogénicas. La gran variabilidad que se obtiene se debe a que la mayoría de las razas son heterocigotas para sus diferentes caracterís-

ticas, como ha podido ser demostrado experimentalmente a través de la autofecundación artificial de razas individuales. Wilcoxson y Paharía (1958) identificaron 15 razas diferentes en 23 aislamientos de la progenie de la raza 111 de *P. graminis* autofecundada.

La hibridación sexual es un medio muy eficaz que disponen los polvillos para producir nuevas razas. Sin embargo, su importancia está limitada sólo a las regiones donde se encuentran los huéspedes alternantes. En Chile existen varias especies de los géneros *Berberis* y *Lycopsis*, que podrían servir de huéspedes alternantes de *P. graminis* y *P. recondita*, respectivamente; pero su importancia en el ciclo sexual de los polvillos no ha sido demostrada hasta el momento (Cortázar, 1942; Arentsen, 1947).

Otra fuente importante de variabilidad de los polvillos es la mutación. Si bien la frecuencia en que ella ocurre es baja (1 a 10 por millón de individuos), la cantidad de mutantes que podría esperarse en los polvillos sería bastante alta, si se considera que en una sola hectárea de trigo moderadamente atacada por el polvillo de la caña se producen, en una temporada, sobre 50 miles de millones de uredosporas (Stakman, 1954).

Entre los mecanismos de multiplicación asexual de los polvillos, la heterocariosis desempeña un rol importante en la formación de nuevas razas. Ella consiste en el traspaso de uno, dos o más núcleos de una célula a otra, por medio de la fusión vegetativa de hifas dicarióticas ($n + n$), seguido de intercambio y reagrupamiento de núcleos. Es de interés señalar que los núcleos no se fusionan ni intercambian material genético, sino que quedan independientes. (Nelson, Wilcoxson y Christensen, 1955; Watson, 1957; Bridgmon, 1959).

Otra fuente importante de variación en los polvillos es el parasexualismo. En el ciclo parasexual, en una frecuencia 1 en 10 millones, 2 núcleos haploides de un heterocarión se fusionan formando un diploide. Luego sobreviene la haploidización, lo cual ocurre en una frecuencia 1 en 1.000, dando origen a nuevas razas (Allard, 1967; Sinnott, Dunn y Dobzhansky, 1961; Gareth Jones y Clifford, 1978). Acerca de este fenómeno, podría darse el siguiente ejemplo: si un núcleo Ab se fusiona con otro aB, se forma el diploide AaBb. Luego, al producirse la haploidización, se originan las razas AB, Ab, aB y ab. De estas razas, dos de ellas son nuevas: AB y ab.

De acuerdo con René Cortázar (comunicación personal), las probabilidades de que las variedades resistentes sean atacadas por razas absolutamente nuevas deben ser mínimas, por cuanto los polvillos, a través de

su evolución de miles de años, han creado una enorme cantidad de diferentes formas patogénicas, las cuales sobreviven en diversos cereales y pastos naturales.

Puede suceder, también, que al momento de la creación de una variedad resistente no exista ningún biotipo patógeno y que sólo después se origine un nuevo biotipo virulento frente a ella.

En el transcurso de los años se ha avanzado bastante en el conocimiento de los polvillos del trigo. Quedan, sin embargo, muchos aspectos por aclarar, como ser: encontrar una explicación de las bases bioquímicas de la resistencia de las variedades; explicar por qué algunas variedades contraen la enfermedad sólo al final de su período vegetativo y otras, antes; aclarar hasta qué punto la resistencia no específica daría una mejor protección, en comparación con la resistencia específica; dilucidar el problema de los cambios frecuentes que se observan en *P. striiformis*; etc.

La explicación de todos estos problemas constituye un desafío para la ciencia, por cuanto sólo mediante el conocimiento integral de la biología de los polvillos y de sus relaciones con el trigo y otras especies, será posible controlar dichas enfermedades.

Los polvillos se pueden controlar por medios químicos y/o genéticos. Con los primeros se ha avanzado bastante en este último tiempo y actualmente se dispone de fungicidas eficaces; sin embargo, por razones económicas, su uso sólo se justificaría en el tratamiento de sementeras de alta productividad.

El control de los polvillos mediante el uso de variedades resistentes ha sido el método más usado desde comienzos de este siglo. Se ha podido comprobar, sin embargo, que cada vez que se han creado variedades resistentes, a los pocos años han sido atacadas por formas virulentas, frente a las cuales no poseen resistencia.

Borlaug (1964) y Cortázar (1974), en México y Chile, respectivamente, han indicado que las variedades resistentes sólo alcanzan a ser cultivadas extensivamente durante un período de 4–5 años. Esto podría explicarse de la siguiente manera: en la población patógena de los polvillos existen razas poco prevalentes; éstas pasan prácticamente inadvertidas, por cuanto las probabilidades que puedan atacar a una variedad sembrada en un área muy reducida son mínimas; sin embargo, tan pronto como la variedad se siembra en un área creciente, las razas anteriormente escasas también aumentarán, llegando a destruir totalmente a la nueva variedad, cuando las condiciones sean adecuadas.

Las enormes pérdidas a que están expuestos los agricultores cuando sus sementeras sufren ataques seve-

ros de los polvillos, ha incentivado a muchos científicos a buscar nuevas soluciones. Una de las soluciones, más atractivas y promisorias, consiste en reemplazar las variedades creadas por línea pura, es decir, derivadas de una sola espiga, por una mezcla de las semillas de varias líneas puras, fenotípicamente semejante pero genéticamente diferentes en cuanto a los genes de resistencia que lleva cada una de ellas. A través de la diversificación genética de la resistencia, se pretende impedir que la enfermedad esté en situación de afectar a todas las plantas de una sementera, como ocurre cuando se trata de una línea pura.

A una mezcla de las líneas puras, como la descrita, se le ha denominado variedad multilineal y, entre los científicos que promueven este método, podemos mencionar a Jensen (1952), especialista en avena, y a Borlaug (1953), fitopatólogo y mejorador de trigo.

Para crear una variedad multilineal, originalmente se cruzaba una variedad comercial con diferentes fuentes de resistencia y luego se retrocruzaban las plantas resistentes varias veces hasta recuperar las características de la variedad comercial, excepto en cuanto a la resistencia a los polvillos. Finalmente se multiplicaba cada una de sus líneas componentes y se entregaba a los agricultores una mezcla de ellas. Se tomaba sí la precaución de continuar el estudio del comportamiento de cada una de las líneas frente a los polvillos, de manera de eliminar de la mezcla aquellas que presentaban susceptibilidad frente a nuevas razas.

Este sistema presenta el inconveniente que la variedad multilineal tiene como techo de rendimiento el de la variedad comercial usada como padre recurrente. A fin de superar esta limitación, CIMMYT ha introducido las siguientes modificaciones: se cruza una variedad comercial, de alto rendimiento y plasticidad ecológica, con varios cientos de líneas, las cuales se presume tienen genes de resistencia diferentes de los que posee la variedad comercial. Luego se seleccionan las plantas resistentes que posean características similares a las de la variedad comercial. Una vez que las líneas han alcanzado la homocigosis, se prueban individualmente y las mejores de ellas se estudian en combinaciones para determinar su rendimiento. Elegida la mejor combinación, se procede a multiplicar individualmente las líneas integrantes, las que se mezclan para entregar la variedad multilineal a los agricultores.

Paralelamente, se continúan estudiando las líneas individuales, en cuanto a su comportamiento frente a los polvillos o a otras enfermedades, y tan pronto como alguna de ellas presente susceptibilidad, se elimina y se reemplaza por otra.

Desde 1970 CIMMYT ha estado trabajando en la creación de una variedad multilineal basada en la cruza

8156 (o Siete Cerros), la cual es excelente en cuanto a su capacidad de rendimiento en muchos ambientes; actualmente está trabajando en otra multilínea, basada en la variedad Anza (CIMMYT, 1976). En atención a que cada país tiene sus propias condiciones ecológicas, CIMMYT está distribuyendo las diferentes líneas componentes de dichas multilíneas, con el propósito de que cada uno forme sus propias multilíneas.

Otra alternativa que existe para evitar pérdidas importantes en la producción de trigo causadas por los polvillos, consiste en sembrar una mezcla de 4–5 variedades comerciales, agrónomicamente semejantes y que tienen una altura de planta adulta y madurez similares. Para obtener éxito se requiere ensayar previamente las variedades en diversas combinaciones. Este sistema se ha practicado en Europa Occidental (Hanson, Borlaug y Anderson, 1982).

En síntesis, mediante las variedades multilíneas y mezclas varietales, sería posible evitar las drásticas disminuciones de rendimiento del trigo causadas por los polvillos, cuando su ataque se presenta en forma de epifitía.

En relación a nuestro país, donde frecuentemente se observan cambios de razas de los polvillos, principalmente en el polvillo estriado en el sur de Chile (latitud 35° – 42°S), se llega a una situación de inseguridad e inestabilidad en la producción de trigo. Con el objeto de superar este problema, el autor considera que debería estudiarse la posibilidad de crear nuestras propias variedades multilíneas y mezclas varietales, pues, si bien las mezclas varietales sólo raras veces superan el promedio del rendimiento de las líneas componentes, en cambio poseen la ventaja de dar al agricultor una mayor seguridad de obtener una cosecha aceptable.

RESUMEN

Ante el pronóstico del aumento acelerado de la población mundial y la real importancia del trigo en su alimentación, se postula la urgencia de aumentar los rendimientos de este cereal, ya que al mundo le quedan pocas posibilidades de seguir aumentando su superficie de siembra; sin embargo, uno de los problemas más serios, que impide producir más trigo, lo constituyen los polvillos (o royas).

Estas enfermedades, que causan enormes pérdidas a nivel mundial, se caracterizan por producir continuamente nuevas formas patogénicas, que las capacitan

para atacar a los cultivares de trigo originalmente resistentes; constituyen un desafío para la ciencia, debido a su enorme complejidad, muchos de cuyos aspectos se desconocen hasta la fecha.

Como una manera de contribuir a resolver el problema de los polvillos, se destaca las posibilidades del uso de multilíneas, de acuerdo con un enfoque propuesto por CIMMYT. El autor sugiere que en Chile se estudie este método y el uso de mezclas varietales, a fin de aumentar la efectividad de los programas de mejoramiento de trigo.

LITERATURA CITADA

- ALLARD, R.W., 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Edición Omega S.A. 498 p.
- ANIKSTER, Y. and WAHL, I. 1979. Coevolution of the rust fungi on Graminae and Liliaceae and their hosts. Ann. Rev. Phytopathol. 17: 367–403.
- ARENTSEN, S. 1947. Consideraciones acerca de los ciclos evolutivos de los polvillos de los cereales en Chile. Simiente 17 (3): 152–157.
- BORLAUG, N.E. 1953. New approach to the breeding of wheat varieties resistant to *Puccinia graminis tritici*. Phytopathology 43: 467. (Abstr.).
- BORLAUG, N.E. 1964. Basic concepts which influence the choice of methods for use in breeding for disease resistance in cross-pollinated and self-pollinated crop plant. En: Proceedings of a NATO and NSF Symposium held at the Pennsylvania St. Univ. Aug. 30 to Sept. 11, 1964.

- BORLAUG, N.E. 1965. Wheat, rust and people. *Phytopathology* 35: 1080–1098.
- BRIDGMON, G.H. 1959. Production of new races of *Puccinia graminis* var. *tritici* by vegetative fusion. *Phytopathology* 49: 386–388.
- CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO (CIMMYT), 1976. Multilíneas: gran proporción a salvo. *EICIMMYT Hoy*, N° 4: 1–11.
- CORTAZAR S., R. 1974. Mejoramiento de trigo para obtener resistencia a las enfermedades en Chile. En Conferencia Latinoamericana del Trigo. Porto Alegre, Brasil, 21 al 28 de octubre de 1974. p: 77–83.
- CORTAZAR S., R. 1947. Enfermedades del trigo. *Simiente* 17: 92–97.
- CORTAZAR S., R. 1942. Wheat rust in South America. *Plant Pathology Seminar Paper* N° 17, University of Minnesota.
- GARETH JONES, D. and CLIFFORD, B.C. 1978. Nature of pathogenicity. En: *Cereal Diseases, their Pathology and Control*. Perivan Press, England. p: 24–25.
- GONZALEZ B., R. 1966. Efecto del ataque del polvillo de la hoja (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*) en el rendimiento de variedades de trigo. *Agricultura Técnica* (Chile) 26 (1): 16–21.
- HACKE E., E. 1974. Estimación de pérdidas debidas a los polvillos del trigo en Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) 34 (3): 181–185.
- HACKE E., E. 1980. Importancia de las royas (o polvillos) del trigo en Chile. Trabajo presentado en la Reunión de Especialistas en Royas. Passo Fundo, Brasil, noviembre 1980.
- HACKE E., E. 1982. Importancia del polvillo amarillo o estriado del trigo y sus razas fisiológicas, en Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) 42 (3): 239–244.
- HACKE E., E. y RAMIREZ A., I. 1983. Epifitias del polvillo o roya amarilla del trigo y la cebada observadas en Chile en la temporada 1981–82. *Agricultura Técnica* (Chile) 43 (3): 273–277.
- HANSON, H.; BORLAUG, N.E.; and ANDERSON, R.G. 1982. *Wheat in the Third World*. Westview Press/Boulder, Colorado. 174 p.
- JENSEN, N.F. 1952. Intravarietal diversification in Oat breeding. *Agron. J.* 44: 30–34.
- JOHNSON, T.; GREEN, G.J.; and SAMBORSKI, D.J. 1967. The world situation of the cereal rusts. *Ann. Rev. Phytopathol.* 5: 183–200.
- LOEGERING, W.Q. 1967. The rust diseases of wheat, USDA. *Agriculture Handbook* N° 334.
- NELSON, R.R.; WILCOXSON, R.D.; and CHRISTENSEN, J.J. 1955. Heterocaryosis as a basis for variation in *Puccinia graminis* var. *tritici*. *Phytopathology* 45: 639–643.
- PARODI P., P. 1966. Incidencia del polvillo estriado del trigo en la zona central de Chile. *Agricultura Técnica* (Chile) 26 (3): 122–124.
- SINNOTT, E.W.; DUNN, L.C.; y DOBZHANSKY, T. 1961. Principios de genética. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 581 p.
- STAKMAN, E.C. 1954. Recent studies of wheat stem rust in relation to breeding resistant varieties. *Phytopathology* 44: 346–351.
- STAKMAN, E.C., and HARRAR, J. 1957. *Principles of Plant Pathology*. The Ronald Press, N.Y. 581 p.
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 1970. *Production Yearbook*. Vol. 24.
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 1971. *Production Yearbook*. Vol. 25.
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 1979. *Production Yearbook*. Vol. 33.
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 1981. *Production Yearbook*. Vol. 35.
- WILCOXSON, R.D. and PAHARIA, K.D. 1958. A study of the progeny from the self-fertilization of Race 111 of *Puccinia graminis* var. *tritici*. *Phytopathology* 48: 644–645.
- WATSON, I.A. 1957. Further studies on the production of new races from mixtures of races of *Puccinia graminis* on wheat seedlings. *Phytopathology* 47: 510–512.