

MEJORAMIENTO GENETICO EN TRIGO PARA TOLERANCIA AL VIRUS DEL ENANISMO AMARILLO DE LA CEBADA (VEAC) EN CHILE¹

Wheat breeding for tolerance to the Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV) in Chile

René Cortázar S.², Ignacio Ramírez A.², Mireya Zerené Z.²,
Ernesto Hacke E.², Oscar Moreno M.² y Fernando Riveros B.²

SUMMARY

The development and economic importance of the wheat aphids species introduced in Chile from 1966 to 1987, are reported. The parasites and predators species introduced and multiplied in Chile to control these insects and the species that became established is indicated.

The Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV) caused important damage in the country from 1973 to 1978, however from 1979 to 1987 the losses were very low.

In the period 1975 to 1978 the BYDV was of great importance in the irrigated central plain and in 1975 the losses amounted to a 30% of the production, however in the coastal drylands the damage was very low.

In the breeding program the lines at INIA with tolerance to BYDV were selected and also tolerant lines from CIMMYT and Canada were introduced.

A large number of crosses were made to obtain more tolerant genotypes and also crosses between the tolerant lines and the best cultivars.

As it is believed that the tolerance is due to many minor genes, a program was developed using recurrent selection to accumulate the genes of several cultivars. For these purposes the 20 more tolerant lines were selected and a dominant gene for male sterility was used to facilitated the crossing among the selected lines.

As a result of several hundred crosses, subjected to a high level of infestation with viruliferous aphid, lines with a good level of tolerance have been selected.

Key words: *Triticum aestivum* L., recurrent selection, virus and aphids importance.

Para aportar antecedentes más completos sobre el problema del Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada (VEAC) en Chile, es importante primero, considerar lo ocurrido con los áfidos en general y, posteriormente, lo relacionado con este virus.

Introducción e importancia económica de los áfidos del trigo

Las especies de áfidos que en la actualidad atacan al trigo en Chile y su probable fecha de introducción se presentan en el Cuadro 1. Antes de 1966 se habían identificado en el país sólo tres áfidos de trigo, los que

hasta ese momento no tenían ninguna importancia económica.

Sin embargo, en 1967 *Metopolophium dirhodum* se extendió en Chile en forma masiva, y en 1971 se propagó en la región central del país *Sitobion avenae*, que se había identificado en 1967 sólo en el sur del país.

La intensidad del ataque de estos insectos fue tan grande que se convirtieron no sólo en el principal problema entomológico del trigo, sino que de la agricultura nacional (Cortázar, 1987).

Los agricultores tuvieron que hacer desinfecciones con insecticidas, siendo necesarias varias aplicaciones en muchos casos, alcanzándose en algunos años el tratamiento de más de 100.000 hectáreas (Quiroz, 1983).

¹Recepción de originales: 3 de octubre de 1989.

Presentado en el XI Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile, Valparaíso, 25 al 28 de Octubre de 1989.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

CUADRO 1. Especies de áfidos del trigo en Chile y fecha de su llegada al país (Zúñiga, 1985; Zerené, Caglevic y Ramírez, 1988)

TABLE 1. Wheat aphids in Chile and date of their arrivals to the country. (Zúñiga, 1985; Zerené, Caglevic y Ramírez, 1988)

Fechas	Especie de áfidos
Anterior a 1966	<i>Rhopalosiphum padi</i> (L.) <i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch) <i>Schizaphis graminum</i> (Rond.)
1967	<i>Metopolophium dirhodum</i> (Walker)
1967	<i>Sitobion avenae</i> (Fabricius)
1987	<i>Diuraphis noxia</i> (Mordvilko)

Para dar una idea de la importancia relativa del ataque de los áfidos, en el Cuadro 2 se presenta una apreciación sobre la intensidad del ataque en la Estación Experimental La Platina (Cortázar, 1989).

Como se observa en el Cuadro 2, hasta 1966 los áfidos carecían de importancia, aumentando fuertemente en 1967, para presentar la mayor intensidad en 1968 en que las plantas quedaron completamente cubiertas por los insectos. Se mantiene con variaciones desde 1966 hasta 1979 y no presentan ningún problema desde 1980 en adelante.

Informaciones más precisas de la variación de la intensidad de su ataque en ciertos años se obtuvieron de ensayos de control de áfidos efectuados en la Estación Experimental La Platina en las que en las parcelas sin tratamiento se determinó el número máximo de

individuos por eje en el año y el índice de áfidos o número de áfidos días por eje (Herrera y Quiroz, 1988; Cuadro 3). El ataque fue importante entre 1976 y 1979 para llegar a niveles muy bajos desde 1980 a 1985.

En ensayos de control de áfidos en el período 1970 a 1974 (años en que el VEAC no se presentaba en forma generalizada), efectuados por varias instituciones en diferentes regiones del país, se informa que las pérdidas causadas por estos insectos, en 20 de estos ensayos, variaron entre 9,8 y 46,1%, con un promedio de 27% para todos ellos (Cortázar, 1977a).

Frente al grave problema que suscitaban los áfidos para la producción de trigo del país, se programaron algunas acciones: a) búsqueda de variedades de trigo tolerantes a los áfidos, b) introducción y multiplicación de parásitos y depredadores, c) control químico con insecticidas que afectaran poco el control biológico (Cortázar, 1977b).

CUADRO 2. Intensidad del ataque de áfidos en la Estación Experimental La Platina. 0 = Sin áfidos, 10 = Intenso ataque (Cortázar, 1989)

TABLE 2. Intensity of the aphids damage at La Platina Exp. Sta. (INIA, Santiago). 0 = Without aphids, 10 = Maximum damage. (Cortázar, 1989)

Año	IA ¹	Año	IA	Año	IA	Año	IA
1965	0 ²	1971	6	1977	4	1983	1
1966	0	1972	5	1978	4	1984	1
1967	4	1973	5	1979	3	1985	1
1968	10	1974	4	1980	1	1986	1
1969	4	1975	8	1981	1	1987	1
1970	3	1976	5	1982	1		

¹IA = Intensidad del ataque.

²0 = Sin áfidos; 10 = Intenso ataque.

CUADRO 3. Pérdidas de rendimiento (%) atribuibles a VEAC en la Estación Experimental La Platina

TABLE 3. Yield losses (%) due to BYDV at La Platina Esp. Sta. (INIA, Santiago)

	Años					
	1973	1975	1976	1977	1978	1982
Pérdidas de rendimiento por disminución de peso del hectolitro en más de 500 variedades cada año atribuibles a virosis ¹	15,0	31,5	17,0	17,0	9,0	
Pérdidas de rendimiento determinadas en ensayos de Control permanente de áfidos ²			18,8	19,6	16,2	19,5

¹Cortázar, 1987; Cortázar, 1984a.

²Herrera y Quiroz, 1983a; 1983b; 1988.

a) Búsqueda de variedades tolerantes. Se solicitó de varios países e instituciones variedades de trigo tolerantes a áfidos, por lo cual se recibieron varias líneas, las que fueron estudiadas conjuntamente con los trigos nacionales. Ninguna de las líneas mostraron tolerancia a estos insectos.

b) Introducción y multiplicación de depredadores y parásitos. La Subestación Experimental Control Biológico La Cruz (INIA), con la colaboración de la Universidad de California y de FAO, consiguió la importación de parásitos y depredadores de áfidos, los que fueron multiplicados en dicha Subestación y, posteriormente, en otras Estaciones Experimentales del INIA. De las cinco especies depredadores introducidas, sólo *Hippodamia variegata* Goezle y *Coleomegilla maculata* (Der Gaer) llegaron a establecerse (Zúñiga, 1985).

De nueve especies parasitoides de áfidos introducidas, se lograron establecer cinco de ellas: *Lysiphlebus testaceipes*, *Aphidius ervi*, *Aphidius rhopalosiphi*, *Praon gallicum* y *Praon volucre* (Zúñiga 1985), siendo la más difundida *A. ervi* con más del 70% del total de parasitismo (Gerding y otros, 1989).

c) Determinación de insecticidas que afectaron poco el control biológico. Mediante ensayos de control, con diferentes tipos de insecticidas, se recomendó el uso de los menos perjudiciales al control biológico.

Evolución del virus del enanismo amarillo (VEAC)

En 1970 se mencionaba la posibilidad que el *M. dirhodum*, introducido al país tres años antes, pudiera ser el vector del VEAC el que aparentemente existía en el país en forma aislada sin causar pérdidas económicas (INIA, 1970).

En 1972 (Tollenaar y Hepp, 1972), demostraron la existencia del VEAC por medio de inoculaciones de avena, trigo y cebada usando pulgones libres de virus y pulgones alimentados en plantas con sintomatología, demostrando que era transmitido por los áfidos.

En 1976 (Caglevic y Urbina, 1976), comprobaron por microscopía electrónica que el causante de la sintomatología era el VEAC.

La infección natural de este virus en la zona centro-norte de Chile ocurre más bien tarde y coincide con la mayor abundancia de áfidos cuando los trigos están espigados o cercanos a la espigadura. No se observa reducciones de altura de la planta y se expresa por la amarillez de las hojas y por una fuerte chupadura del grano, encontrándose una alta correlación entre peso del hectolitro y rendimiento (Cortázar, 1977b).

Bajo condiciones naturales, en 1975, 1976 y 1977 y debido a fuerte ataque de la virosis, la mejor selección para tolerancia a ésta estaba basada en el ausencia de granos chupados y, por lo tanto, en el peso del hectolitro. Debido a esto se analizó el efecto que tenía la baja del peso del hectolitro en el rendimiento, pudiéndose determinar que la reducción era de 3,5% por cada kilogramo (Cortázar, 1985).

Usando estos antecedentes y el peso del hectolitro promedio de más de 500 cultivares en cada año (Cortázar, 1984a, 1987), se determinaron las pérdidas atribuibles al VEAC en los años que no existió otro problema de importancia en el trigo (Cuadro 3), y las pérdidas determinadas en ensayos de control del VEAC con 10 variedades iniciado a partir 1976 (Herrera y Quiroz, 1983a; 1983b; 1988).

De 1979 a 1985 sólo hubo diferencias significativas entre las parcelas protegidas y las con infección natural en 1982 (Herrera y Quiroz, 1988).

Al comparar las pérdidas determinadas por los dos procedimientos, se puede ver que hay coincidencia en los años 1976 y 1977, lo que no ocurre en 1978 en que por presentarse otros problemas, además de la virosis, no se pudo separar su efecto en la disminución del peso del hectolitro.

Los daños causados por la virosis no son uniformes en toda la región, como puede verse al analizar los ensayos regionales, sembrados todos cada año con los mismos cultivares, en diferentes localidades. Se pudo determinar que las pérdidas de rendimiento causadas por la virosis en los años 1975 a 1978, fueron de poca importancia en el secano costero, mientras que en los terrenos regados del llano central sucedió lo contrario, llegando, en algunas localidades, a pérdidas superiores a 30% de la producción (Cortázar, 1984b).

En observaciones visuales efectuadas en diferentes ensayos cada año, entre 1972 y 1987, en la Estación Experimental La Platina (Cuadro 4), se determinó que desde 1973 a 1978 la enfermedad fue importante, bajando fuertemente la intensidad desde 1979 hasta 1987, con la excepción de 1982 (Cortázar, 1989).

Métodos empleados en el mejoramiento genético para tolerancia al VEAC

En relación con el VEAC, frente a la aparición de la enfermedad en forma generalizada, el primer paso fue el cambio de cultivares muy susceptibles a líneas que mostraron una mayor tolerancia a la enfermedad. En dos años el cultivar de trigo más sembrado en la zona fue reemplazado por cultivares existentes en el programa o introducidos, lo que mejoró significativamente los rendimientos.

CUADRO 4. Importancia del VEAC en la Estación Experimental La Platina en una Escala de 0 a 10. 0 = Sin enfermedad; 10 = Máximo ataque (Cortázar, 1989)

TABLE 4. Barley yellow dwarf virus importance at La Platina Experiment Station (INIA, Santiago). 0 = Without disease; 10 = Maximum Infection (Cortázar, 1989)

Año	IA ¹	Año	IA	Año	IA
Anterior a 1972	0 ²	1977	5	1982	3
1973	5	1978	5	1983	1
1974	2	1979	1	1984	2
1975	10	1980	1	1985	1
1976	5	1981	1	1986	1
				1987	1

¹IA = Intensidad del ataque.

²0 = Sin enfermedad; 10 = máximo ataque.

Frente a la gravedad del problema, el INIA, a partir de 1976, desarrolló un programa de mejoramiento genético para obtener mayor tolerancia al virus. En el programa de cruzamientos se emplearon como padres tolerantes: líneas y cultivares seleccionados en el país; genotipos obtenidos del CIMMYT y líneas seleccionadas durante tres años con inoculación artificial por el Dr. Comeau en Canadá. Se emplearon tres métodos:

a) Introducción de materiales de diferentes países e instituciones con tolerancia al virus; b) selección dentro del material existente en el programa de mejoramiento local; y c) cruzamientos para agregar tolerancia a cultivares adaptados.

En relación con el programa de cruzamientos, se planificaron tres objetivos: 1) cruzamiento entre cultivares tolerantes para obtener material con mejor tipo de tolerancia que pudiera usarse en los programas de cruzamiento; 2) cruzamiento de cultivares tolerantes con material adaptado al país para obtener mejores trigos y; 3) selección recurrente usando esterilidad genética dominante, para concentrar genes de tolerancia, si como se cree, la tolerancia puede ser un carácter multigénico.

Se han efectuado varios centenares de cruzamientos orientados a los dos primeros objetivos señalados.

Selección recurrente. En trigo no se han encontrado genes mayores que den tolerancia al VEAC y se supone que ésta se deba a acción multigénica. Se estimó conveniente desarrollar un programa de selección recurrente que permitiese la acumulación de genes presentes en diferentes cultivares y en esta forma aumentar los niveles de tolerancia a la enfermedad.

Para ello, en 1986 se eligieron las veinte mejores líneas tolerantes obtenidas de diferentes origen para iniciar el programa.

El método se basa en el cruzamiento entre todas las líneas seleccionadas y en la elección de las plantas más tolerantes en cada año, las que se vuelven a cruzar al año siguiente entre sí, obteniéndose un aumento de la concentración de genes en cada generación. Para facilitar los cruzamientos se usó un gen dominante para esterilidad de polen. La metodología empleada es la descrita por Cortázar y Hacke (1987).

Para tener éxito en un programa de mejoramiento es necesario poder contar con las condiciones adecuadas para efectuar la selección.

La virosis es una enfermedad en la que no hay una buena correlación entre la sintomatología de la planta y las pérdidas causadas por la enfermedad.

En los años 1975, 1976 y 1977 en la Región centro-norte, la infección natural de la virosis fue tan intensa que prácticamente todas las plantas se infectaron, notándose como una de las principales sintomatologías, la chupadura del grano.

Para determinar la tolerancia a la virosis se usan dos parámetros principales: rendimiento de la planta y llenado del grano (peso del hectolitro).

El peso del hectolitro es una característica mucho más estable que el rendimiento, no es afectado por calidad del terreno, malezas, época de siembra, etc. Pero es muy afectado por tencedura y enfermedades como *P. graminis*, enfermedades radiculares, y, bajo las condiciones de La Platina, por el VEAC, (Cortázar, 1985). Permite la selección en planta individual, lo que no es posible por medio del rendimiento.

En el Cuadro 5 se presenta la diferencia, en kilogramos, entre el peso del hectolitro de 84 kg, que indicaría que no hubo problemas y el peso del promedio de todos los cultivares estudiados en cada año, con indicación de los principales factores responsables del cambio (Cortázar, 1989).

De este cuadro se desprende que de los seis años en que hubo mayor caída del peso del hectolitro, en cinco de ellos el VEAC fue la principal causa.

Inoculación artificial con virus. Debido al gran volumen de material segregante en la Estación Experimental La Platina (más de 6 hectáreas), no es posible someter a inoculación artificial todos los segregantes, por lo que, bajo condiciones de inoculación artificial al virus, cada año se colocan solamente: a) los cruzamientos entre cultivares tole-

CUADRO 5. Diferencias entre el peso del hectolitro de todas las variedades ensayadas y el peso esperado de 84 kilos, con indicación de la principal causa que lo afectó. La Platina (Cortázar, 1989)

TABLE 5. Differences in kilos between the average hectoliter weight and the expected of 84 kilos, with indication of the principal cause of the difference. La Platina (Cortázar, 1989)

Año	Diferencias con 84 kilos (kg)	Principales factores que influyeron
1975	-8,7	VEAC y <i>P. striiformis</i>
1978	-6,0	VEAC, <i>P. graminis</i> y tendadura
1977	-5,7	VEAC, enfermedades radiculares
1979	-5,1	Tendadura
1973	-4,4	VEAC
1976	-4,0	VEAC
1982	-3,6	<i>Puccinia</i> spp y VEAC
1965	-3,3	<i>P. striiformis</i>
1980	-3,1	<i>P. recondita</i> y <i>P. graminis</i>
1970	-3,1	No hay explicación
1971	-3,1	No hay explicación
1968	-3,0	Afidos
1967	-2,8	<i>P. graminis</i>
1983	-2,6	Enfermedades radiculares
1969	-2,3	Sin problemas
1981	-1,6	Sin problemas
1974	-1,6	Sin problemas
1972	-1,4	Sin problemas
1984	-1,1	Sin problemas
1986	-0,4	Sin problemas
1985	-0,1	Sin problemas
1987	+0,2	<i>P. recondita</i>
1966	+0,6	Sin problemas

rantes para seleccionar líneas más tolerantes que los padres; b) material obtenido en la selección recurrente para tolerancia a virosis; c) jardines con cultivares tolerantes al VEAC de otros países y d) vivero de inoculación artificial en el que se colocan las mejores líneas del año anterior y los cultivares en ensayos avanzados procedentes de introducciones o de cruzamientos.

El subprograma Virología en trigo de la Estación Experimental La Platina (INIA), tiene a su cargo la determinación de la tolerancia al virus. Para ello, inocula con pulgones virulíferos todo el material en estudio, siguiendo la metodología descrita por Herrera y otros (1991).

Con este método, ha sido posible seleccionar el mejor material para resistencia al virus tanto del introducido del extranjero como del obtenido en el programa de cruzamiento de La Platina. Sin la ayuda de este programa no habría sido posible mantener un trabajo eficiente de mejoramiento para tolerancia al virus.

Se ha seleccionado alrededor de 50 líneas de trigos de pan y candeales que, bajo altos niveles de infección, en tres años han mostrado buena tolerancia al virus.

RESUMEN

Se presenta el desarrollo alcanzado por las especies de áfidos introducidas al país después de 1965, indicándose la importancia económica que han tenido desde 1965 hasta 1987, y se señalan las especies de parasitoides y depredadores introducidas, multiplicadas y establecidas en Chile, para el control de dichos insectos.

El virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC) desde 1973 a 1978 causó importantes daños en el país. Sin embargo, desde 1979 hasta 1987 los daños fueron de poca importancia.

El ataque de la virosis en el período 1975 a 1978 fue de gran importancia económica en el llano central regado, pero en el secano de la costa tuvo muy poca importancia.

En el programa de mejoramiento genético del INIA se seleccionaron las líneas más tolerantes al VEAC en el país y se introdujeron líneas tolerantes del CIMMYT y

de Canadá. Se desarrolló un programa de cruzamiento destinado a obtener genotipos más tolerantes y cultivares más adaptados a la zona.

Al no existir genes mayores para tolerancia, lo cual se estimó que podría deberse a la acción de muchos genes menores, y con el objeto de acumularlos para mejorarla, se inició un programa de selección recurrente con las veinte mejores líneas, utilizando un gen dominante que provoca esterilidad de polen y, con ello, facilitar los cruzamientos entre las líneas seleccionadas.

Como producto de varios centenares de cruzamientos sometidos a altos niveles de infestación con áfidos virulífero, se han seleccionado líneas que han mostrado un buen nivel de tolerancia.

Palabras claves: *Triticum aestivum* L., selección recurrente, importancia del virus, importancia de áfidos.

LITERATURA CITADA

- CAGLEVIC D., MILAN y URBINA DE VIDAL, CECILIA. 1976. Determinación por microscopía electrónica y por transmisión por inoculación de plantas que el virus presente es el BYDV. *Agricultura Técnica (Chile)* 36: 1-4.
- CORTAZAR S., RENE. 1989. Factores que influyeron en el comportamiento de los trigos en la Estación Experimental La Platina en los años 1965 a 1986. *Agricultura Técnica (Chile)* 49: 193-201.
- CORTAZAR S., RENE. 1987. Mejoramiento genético del trigo en Chile. *Boletín de la Academia Chilena de Ciencias del Instituto de Chile*: 8: 15-26.
- CORTAZAR S., RENE. 1985. Relación entre peso del hectolitro y rendimiento en trigo en la región centro-norte. *Agricultura Técnica (Chile)* 45: 267-272.
- CORTAZAR S., RENE. 1984a. Factores que influyeron en los rendimientos y otros caracteres de los trigos de la Estación Experimental La Platina en los años 1971 a 1981. II Efectos en los rendimientos de trigos de pan. *Agricultura Técnica (Chile)* 44: 155-160.
- CORTAZAR S., RENE. 1984b. Efecto del complejo áfidos virus (VEAC) en los Ensayos Regionales de Trigo (1975-1981) de la Estación Experimental La Platina. *Agricultura Técnica (Chile)* 44: 69-72.
- CORTAZAR S., RENE. 1977a. Influencia de los áfidos en la disminución del rendimiento del trigo en Chile. *Investigación y Progreso Agrícola* 9(1): 25-30.
- CORTAZAR S., RENE. 1977b. La virosis del trigo. Primera parte. Distribución de la enfermedad y daños producidos en 1976. *El Mercurio*, 1° de Marzo 1977.
- CORTAZAR S., RENE Y HACKE E., ERNESTO. 1987. Selección recurrente para rendimiento y otros caracteres cuantitativos en trigo. *Agricultura Técnica (Chile)* 47: 400-405.
- GERDING P., MARCO, ZUÑIGA S., ENRIQUE, QUIROZ E., CARLOS, NORAMBUENA M., HERNAN, VARGAS M., RENE. 1989. Abundancia relativa de parasitoides de *Sitobion avenae* (F) y *Metopolophium dirhodum* (WLK) (Homoptera-Aphididae) en diferentes áreas geográficas de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 49: 104-114.
- HERRERA M., GUIDO y QUIROZ E., CARLOS. 1988. Pérdidas de rendimiento en trigo causadas por la infección natural del VEAC en ensayos realizados desde 1976 a 1985. *Agricultura Técnica (Chile)* 48: 75-80.
- HERRERA M., GUIDO y QUIROZ E., CARLOS. 1983a. Pérdidas y comportamiento varietal de trigo frente al virus del enanismo amarillo de la cebada en la zona centro-norte de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 43: 127-131.
- HERRERA M., GUIDO y QUIROZ E., CARLOS. 1983b. Nuevos antecedentes sobre el virus del enanismo amarillo de la cebada. *Investigación y Progreso Agrícola* 17: 23-24.
- HERRERA M., GUIDO, ZERENE Z., MIREYA, GERDING P., MARCOS y AGUILERA P., ALFONSO. 1991. Presencia de razas del virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC) en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 51(3).
- INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. 1970. *Investigación Agropecuaria*. Santiago, Chile. 446 p.
- QUIROZ, E. C. 1983. Los pulgones del trigo ¿siguen siendo plaga importante?. *Investigación y Progreso Agropecuario, La Platina* 17: 21-22.
- TOLLENAAR, HUIB Y HEPP G., RUPERTO. 1972. Presencia del virus causante del enanismo amarillo de la cebada (Barley Yellow Dwarf Virus) en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 32: 137-142.
- ZERENE Z., MIREYA, CAGLEVIC D., MILAN y RAMIREZ A., IGNACIO. 1988. Un nuevo áfido de los cereales en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 48: 60-61.
- ZUÑIGA S., ENRIQUE. 1985. Ochenta años de control biológico en Chile. Revisión histórica y evaluación de los proyectos desarrollados (1903-1983). *Agricultura Técnica (Chile)* 45: 175-183.