

MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA RESISTENCIA A ENFERMEDADES EN TRIGO EN CHILE

RENÉ CORTÁZAR S.*

El mejoramiento genético en plantas requiere que la nueva variedad satisfaga las exigencias del agricultor, del industrial y del consumidor. Cualquier deficiencia en alguna de las características importantes la inutiliza por excelente que sea en los demás caracteres.

Además de la resistencia a enfermedades que se va a analizar en este trabajo, las variedades tienen que ser satisfactorias para más de 15 caracteres como ser buen rendimiento, resistencia a tendadura, buena calidad panadera, etc. (Cortázar, 1982).

Todos estos caracteres son controlados genéticamente, dependiendo algunos de pocos genes como ser altura de planta mientras que otros son determinados por muchos genes como ocurre con el rendimiento.

ENFERMEDADES EN TRIGO

El trigo es afectado en el país por un gran número de enfermedades que pueden reducir drásticamente su producción.

Así el *Puccinia graminis* que causa la enfermedad denominada polvillo colorado de la caña, en la década del 40 producía en la zona centro-norte de Chile un daño promedio anual de 15% (Cortázar, 1947). En 1951 esta enfermedad produjo pérdidas totales de los trigos candeales en ciertas propiedades y estimándose que la pérdida en ese año alcanzó el 40% de la

*Academia Chilena de Ciencias. Instituto de Chile.

Debido al gran número de problemas, no es posible obtener una variedad que sea completamente resistente a todas las enfermedades y que además tenga todas las demás características agronómicas, por lo cual los trabajos se orientan a dar resistencia total a las principales enfermedades y se acepta cierta variabilidad en la resistencia a las enfermedades secundarias.

Para disminuir los daños causados por las enfermedades, existen dos alternativas: a) uso de fungicidas, b) obtención de resistencia genética.

USO DE FUNGICIDAS

Hasta hace relativamente pocos años, el control de enfermedades en el trigo usando fungicidas no era económico, pues se necesitaba hacer varias aplicaciones lo que representaba un elevado costo. Por otra parte el uso masivo de fungicidas crea serios problemas de contaminación ambiental. Se ha podido determinar en varios casos la pérdida de eficiencia de ellos por la aparición de mutantes en los hongos resistentes a su acción (Wolfe, 1985).

En la actualidad con los fungicidas sistémicos es posible combatir en forma económica algunas enfermedades, lo que es valioso, especialmente cuando por una emergencia una variedad resistente a una enfermedad es sorpresivamente atacada por ella.

RESISTENCIA GENÉTICA A LAS ENFERMEDADES

Para la mayor parte de las enfermedades que afectan al trigo, con excepción de ciertas enfermedades radicales, existen genotipos resistentes a ciertos biotipos patógenos y en general esta resistencia se debe a uno o pocos genes, por lo que el traspaso de esta resistencia de una variedad a otra es relativamente fácil. Sin embargo, esta resistencia en unos casos se pierde por la aparición de otros biotipos del patógeno que son capaces de atacar variedades que anteriormente eran resistentes.

RAZAS FISIOLÓGICAS

En todos los patógenos que atacan las plantas, existen varios biotipos o razas fisiológicas que se caracterizan por su especialización a uno o diferentes cultivares de una especie (Jones and Clifford, 1978).

Para poder visualizar la importancia de la existencia de razas fisiológicas en relación con el mejoramiento genético, como un ejemplo se va a considerar el *Puccinia graminis*.

Al observar respuestas diferentes de variedades frente a biotipos de

existentes. Por otro lado no hay ninguna raza que sea capaz de atacar a todos los genes.

En general en un año y en una localidad determinada sólo se presentan en gran proporción unas pocas razas; sin embargo, en pequeña cantidad hay un gran número de ellas. Al sembrar el material en estudio en estas condiciones, la selección es muy eficiente frente a las razas prevalentes, ya que las variedades que son resistentes a ellas se muestran totalmente libres de la enfermedad. Sin embargo, estas variedades pueden ser susceptibles a algunas de las razas escasas, lo que no se aprecia en el terreno. Al distribuir estas variedades resistentes a las razas prevalentes, impiden la propagación de esas razas y se desarrollan algunas de las escasas que son capaces de atacarlas. Como la capacidad de multiplicación de estos hongos es enorme, en un año una raza escasa puede transformarse en la más prevalente.

En el Cuadro 3 se presentan algunos ejemplos de las variaciones ocurridas en el comportamiento de variedades debido al cambio de razas de *P. graminis* en Chile.

Como puede verse en el Cuadro 3 se nota un primer cambio de biotipos en el comportamiento de la variedad Capelli que era comercialmente resistente, desde 1944 a 1948, pero que se hace susceptible en 1951. Un segundo cambio ocurre en 1952 en que la variedad Mentafén que era completamente resistente se hace susceptible en 1952. Un tercer cambio ocurre en el período 1959 a 1964 en que se pierde la resistencia de Candealfén, que de ser casi totalmente resistente a la enfermedad se hace tan susceptible como Capelli. Ocurre un cuarto cambio en 1965 y 1972 el que afectó el comportamiento de Orofén y Collafén. Se puede observar que se produjeron cambios entre 1974 y 1976 en relación con Aurifén, y entre 1976 y 1978 en Likay, Yecora y Cajeme, y entre 1978 y 1984 en Sonka. Llama la atención sin embargo el caso de Toquifén que mantuvo su resistencia desde 1959 a 1984.

Los cambios indicados no son los únicos que ocurrieron ya que al analizar otras variedades se comprobaría que existieron muchos más que los analizados.

Con el objeto de poder predecir futuros cambios, cada año se hacen colecciones de muestras de la enfermedad con los que se inoculan variedades resistentes en el invernadero para saber si hay razas capaces de atacarlas.

Además se siembran en diferentes lugares del país variedades que son resistentes a la enfermedad, y si aparecen pustulas de la enfermedad en este material se multiplican en invierno para ver el comportamiento de los mejores trigos frente al nuevo biotipo.

TIPOS DE RESISTENCIA GENÉTICA A LAS ENFERMEDADES

Van der Plank (1963) planteó la existencia de dos tipos de resistencia de las plantas a las enfermedades que él llamó vertical y horizontal. De acuerdo con esta teoría, la resistencia vertical en general se debe a uno o pocos genes y da resistencia contra ciertas razas de la enfermedad, pero es susceptible a otras razas. La resistencia horizontal se debe en general a muchos genes y es efectiva contra todas las razas del hongo, aunque en general la resistencia no es total pero existen diferencias entre variedades.

Para ilustrar estas diferencias, en la Figura 1 se presentan dos cultivares que tienen resistencia vertical y que muestran resistencia frente a

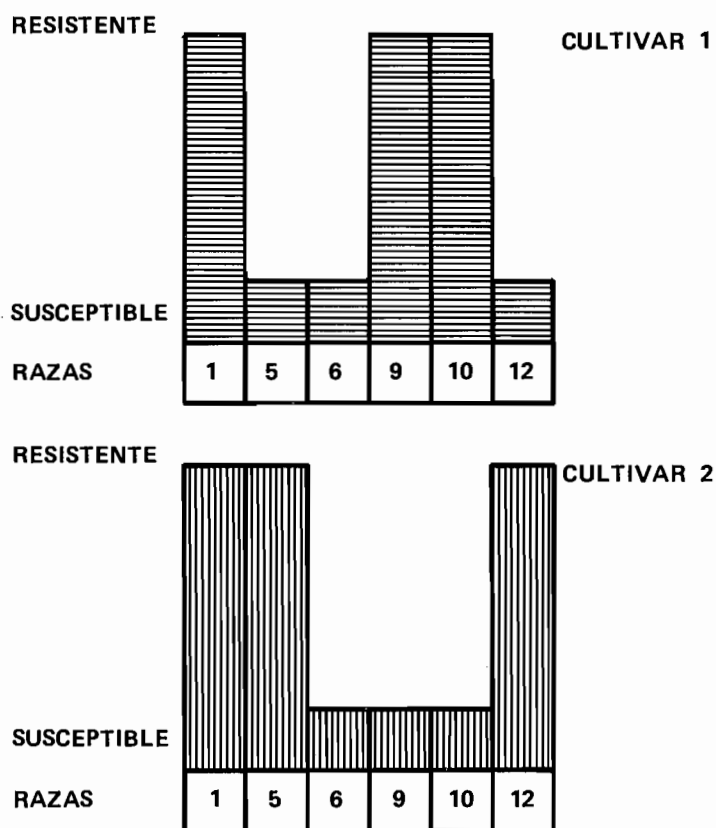


FIGURA 1
RESISTENCIA VERTICAL

Robinson (1980) atribuye la resistencia parcial a las enfermedades, a genes no específicos, sin embargo Johnson (1984) señala que se ha podido comprobar la acción de genes específicos que producen bajos niveles de resistencia.

Mientras no se conozcan las causas exactas a que se debe la resistencia de las plantas a las enfermedades, no se va a poder dilucidar con seguridad si realmente los dos tipos de resistencia se deben a distintos tipos de genes o a diversos casos de interacción génica.

En relación con los trabajos de mejoramiento genético, es de especial importancia conocer si la resistencia que se está usando se debe a pocos o muchos genes, ya que de ello dependerá el método de mejoramiento que se usará.

MEJORAMIENTO GENÉTICO

Un programa de mejoramiento genético, requiere en primer término producir variabilidad que permita, posteriormente usando los métodos adecuados, seleccionar los genotipos que respondan a las necesidades.

Los principales métodos para obtener la variabilidad necesaria son la introducción de material de otras partes del mundo; el cruzamiento y la mutación.

En el mejoramiento genético para resistencia a las enfermedades en trigo en Chile, se han usado principalmente la Introducción, y diferentes formas de llevar los cruzamientos de acuerdo con el tipo de característica a mejorar.

CONDICIONES PARA EFECTUAR LA SELECCIÓN

Para poder efectuar la selección para resistencia a las enfermedades, como para cualquier otro carácter, es necesario dar las condiciones adecuadas para que se exprese el carácter en el material estudiado.

La selección puede basarse en pruebas en invernadero y bajo condiciones de campo. Sin embargo, la selección en el campo es fundamental para obtener buenos resultados.

La intensidad del ataque tiene que ser adecuado para poder separar genotipos resistentes o tolerantes de los genotipos susceptibles. Un ataque demasiado intenso en ciertos tipos de enfermedades no permite efectuar una selección adecuada, pues todo el material es dañado por la enfermedad.

Para conseguir una buena presencia de la enfermedad es posible buscar localidades donde la enfermedad se presenta generalmente y así sería posible efectuar la selección bajo condiciones naturales.

Debido a que el desarrollo de la enfermedad no es parejo en todo el material, especialmente cuando el nivel de infección es bajo, es de especial importancia contar con variedades testigos cada 20 ó 30 hileras del material en estudio, para conocer la uniformidad del ataque.

Estas variedades testigos deberían incluir a la mejor variedad en la región y una variedad susceptible a la principal enfermedad para conocer la uniformidad del ataque.

INTRODUCCIÓN

Este método de mejoramiento tiene dos objetivos principales: a) la obtención de una variedad que se adapte a las condiciones de la región y por lo tanto que puede ser rápidamente distribuida y, b) seleccionar líneas que aunque no se adapten a la región tengan características valiosas que puedan usarse en los demás métodos de mejoramiento.

Debido a la gran importancia de este método, es necesario preocuparse de obtener de otras regiones o países la mayor cantidad posible de material para su estudio.

La obtención de material se facilita por la existencia de varios sistemas regulares que abastecen a los programas con nuevos materiales, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes: CIMMYT, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, PROCISUR.

El CIMMYT proporciona regularmente material con resistencia a diferentes enfermedades, material F_2 , líneas avanzadas, y ensayos de rendimiento de las mejores líneas en el programa.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, con sus jardines internacionales de *Puccinias*, que ofrece una excelente información sobre el material más resistente en el mundo a los tres *Puccinias* y que además cuenta con una excelente colección de trigos, que puede proporcionar a los interesados el material más resistente a diferentes enfermedades.

PROCISUR todos los años proporciona a los interesados el LACOS y el ERCOS y varios jardines de resistencia a diferentes enfermedades.

Fuera de estos sistemas de abastecimiento regular es importante mantener contacto con otras Estaciones Experimentales de diversas partes del mundo para conseguir mayor diversidad genética.

Se puede asegurar que la introducción es un método que tiene la máxima prioridad y es aplicable cuando se está trabajando con resistencia debido a pocos o a muchos genes.

En los últimos 14 años se han recibido y estudiado en la Estación Experimental La Platina más de 40.000 líneas o variedades de trigo procedentes de más de 20 países.

como fueron las variedades de Pumafén, Panguifén. En los últimos años el cambio de resistencia de las variedades distribuidas ha obligado a un cambio muy frecuente de las variedades cultivadas.

CRUZAMIENTO

Por medio de cruzamiento es posible traspasar la resistencia a una enfermedad de una variedad a otra y también juntar en una variedad genes de resistencia que se encuentran en dos o más variedades.

Debido al gran número de características que debe tener una variedad y la gran variabilidad que presentan las enfermedades, es necesario efectuar una gran cantidad de cruzamientos para asegurar la obtención de variedades adaptadas a las condiciones cambiantes del medio. Como una indicación del volumen de trabajo se puede señalar que en los últimos 14 años en La Platina se han efectuado y estudiado más de 14.000 cruzamientos en trigo.

Al cruzar dos variedades de trigo en la primera generación o F_1 , después del cruzamiento, todas las plantas son iguales y no es posible efectuar selección.

Al sembrar las semillas obtenidas en las plantas F_1 se obtiene el F_2 , en el que se produce la segregación de los caracteres en que se diferencian los padres, siendo cada planta F_2 genéticamente diferente de cualquiera otra planta.

El número de genotipos diferentes y combinaciones que se producen en el F_2 se presentan en el Cuadro 5.

En el F_2 sólo habría 1 individuo homocigoto para todos los 21 genes $(\frac{1}{4})^{21}$ en 4,3 billones de individuos.

CUADRO 5

NÚMERO DE GENOTIPOS DIFERENTES Y COMBINACIONES QUE SE PRODUCEN EN UN F_2 CUANDO LOS PADRES SE DIFERENCIAN EN DISTINTOS NÚMEROS DE GENES

Número de genes en que se diferencian los padres	Número de genotipos diferentes	Número de combinaciones
2	9	16
3	27	64
10	59.000	1.000.000
21	10,460 Millones	4,3 Billones
n	3^n	4^n

LA RESISTENCIA DEPENDE DE MUCHOS GENES DE EFECTO ACUMULATIVO

De acuerdo con la hipótesis de Van der Plank, la resistencia horizontal se debería a la acción de muchos genes, cada uno con un pequeño efecto que al sumarse darían la resistencia adecuada. Se postula que todas las variedades tienen algunos genes para este tipo de resistencia y que una forma de aumentarla sería juntar en una variedad los genes provenientes de muchas variedades.

Si es correcta esta hipótesis, el método de mejoramiento más adecuado en este caso sería la selección recurrente que permitiría aumentar la concentración de los genes en una población y al seleccionar individuos de esa población se aumentaría enormemente la posibilidad de encontrar individuos con gran número de genes convenientes. La FAO ha desarrollado trabajos con este método en varios países.

Para poder efectuar la selección recurrente en trigo y evitarse el tener que hacer una gran cantidad de cruzamientos se pueden emplear dos métodos para poder obtener todos los cruzamientos posibles fácilmente: a) El uso de un gametocida como es el Ethrel que aplicado en ciertas condiciones produce una gran esterilidad de polen afectando en forma limitada la fertilidad de los óvulos; y b) El uso de esterilidad de polen debida a un gen dominante.

Al usar estos dos métodos se puede sembrar un gran número de variedades y conseguir que ocurran cruzamientos entre todas ellas.

El desarrollo del método usando Ethrel se indica a continuación:

SELECCIÓN RECURRENTE EMPLEANDO ETHREL

El empleo de la selección recurrente se justifica en caracteres que dependen de muchos genes con el objeto de juntar en una variedad la mayor parte de los genes que interesan. Para explicar su desarrollo se presenta un ejemplo con solo cuatro genes y se supone que se cuenta con los siguientes genotipos: AAbbccdd; aaBBccdd; aabbCCdd; aabbccDD, y se desea juntar todas las mayúsculas en una variedad.

1^{er} año

Se siembra una mezcla de los cuatro genotipos en hileras de 5 metros de largo. Hilera por medio se trata con Ethrel para producir esterilidad de polen en esas hileras. Estas hileras tratadas con Ethrel serán fecundadas con el polen de las hileras no tratadas.

Al cosechar las hileras tratadas con Ethrel se espera obtener los siguientes genotipos: AaBb; AaCc; AaDd; BbCc; BbDd; CcDd.

5^{to} año

Al sembrar el material seleccionado el año anterior se obtendrán individuos con las 8 mayúsculas.

Selección recurrente se está desarrollando en la Estación Experimental La Platina, usando Ethrel y esterilidad genética de polen para obtener resistencia a *Puccinia graminis*, *P. striiformis* y Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada.

PÉRDIDA DE RESISTENCIA A LAS ENFERMEDADES

Como ya se ha indicado anteriormente, el principal problema que presenta el mejoramiento para resistencia a las enfermedades es la pérdida de resistencia que sufren las variedades, que cuando se distribuyen son resistentes a las razas prevalentes, pero que en períodos a veces muy cortos, se hacen susceptible por la multiplicación de razas poco prevalentes y a las cuales ellas son susceptibles.

En relación con la agricultura en general, este inconveniente se ha solucionado a través de los programas de mejoramiento que están constantemente produciendo nuevas variedades que permiten reemplazar a aquellas variedades que empiezan a ser atacadas por nuevas razas.

Para evitar pérdidas importantes a los agricultores se recomienda que, cuando sea posible, usen más de una variedad en sus cultivos, lo que disminuye las probabilidades de grandes daños, ya que hay menos posibilidades que todas ellas pierdan la resistencia al mismo tiempo.

Frente a problemas de enfermedades muy cambiantes y de gran importancia económica se recomendó el uso de multilíneas, es decir, mezclas de genotipos que eran genéticamente iguales o muy parecidos pero que se diferenciaban sólo en los genes de resistencia que llevaban cada uno de ellos.

Para ello se elegía una variedad susceptible a la enfermedad y se cruzaba con 20 o más padres resistentes que tenían diferentes genes para resistencia. Se desarrollaban 20 programas de retrocruzamiento con lo que al final del programa se disponía de 20 líneas genéticamente iguales, pero que se diferenciaban en sus factores de resistencia. Se sembraban por separado cada una de estas líneas y si alguna se atacaba por la enfermedad no se consideraba. Se mezclaban semillas en iguales proporciones de las líneas resistentes y esta semilla se entregaba a los agricultores. Cada año la semilla era agrónomicamente igual pero podrá ser muy diferente en relación con los genes de resistencia.

Si alguna de las líneas de la mezcla se hacía susceptible al daño causado por la enfermedad sólo iba a afectar a una parte de las plantas y el ataque

Por tercer año se están estudiando en La Platina las posibilidades de distribución de mezclas de variedades, lo que daría mayor estabilidad en relación con las enfermedades y los rendimientos.

RESULTADOS DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO

Los programas de mejoramiento han permitido que los agricultores del país en la actualidad y desde hace muchos años dispongan siempre de variedades resistentes a *Puccinia graminis*, lo que ha permitido eliminar de las siembras comerciales pérdidas causadas por esta enfermedad en la zona centro-norte.

En relación con *P. recondita* y *P. striiformis* se cuenta con variedades resistentes para cada zona del país, aunque en el caso de *P. striiformis* todavía hay años que se producen pérdidas de importancia en variedades susceptibles.

Respecto al Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada aunque no se dispone de variedades resistentes se han distribuido variedades tolerantes a la enfermedad que han reducido significativamente los daños causados de 30% en 1975 a niveles inferiores al 3% en los últimos años.

En relación con enfermedades radiculares el mejoramiento genético ha sido poco efectivo por no existir fuentes de resistencia adecuadas para estas enfermedades por los polifagos que son los hongos que las producen.

Gracias a los programas de mejoramiento genético y a la mejoría de las prácticas culturales, los rendimientos del trigo han subido de 12,1 quintales por hectárea en 1945-1949 a 28,0 quintales en 1985. Se puede estimar que la mitad de este aumento se debe a mejoras de las prácticas culturales y del 50% al mejoramiento genético.

El aumento de la producción debido al mejoramiento genético, considerando las 600.000 hectáreas sembradas en 1985 en comparación con 1945-1949, sería de 4.500.000 quintales métricos que a 3.000 pesos el quintal representan un valor de 13.500.000.000 de pesos.