

TALLER SOBRE ROYA DEL CAFETO

NECESIDAD DE VARIABILIDAD GENETICA Y SU EMPLEO EN LA SELECCION DE CULTIVARES RESISTENTES A Hemileia vastatrix EN COLOMBIA

Jaime Castillo Z.

La necesidad de resistencia duradera en un cultivo que, como el café, está determinado por su carácter perenne y por lo prolongado de su ciclo económico, es un hecho protuberante de decisiva importancia. Este hecho implica que, dentro de la estrategia general del trabajo de mejoramiento genético, el manejo de la resistencia para asegurar la estabilidad, ocupe un lugar de primera importancia.

Este aspecto del manejo de la resistencia es de tanto mayor interés cuanto que actualmente se trabaja con resistencia específica o vertical, cuya inestabilidad ha sido observada repetidamente en los principales cultivos que suministran alimento a la especie humana (7, 8, 19). Serias dudas han sido formuladas, además, sobre la efectividad de este tipo de resistencia en cultivos perennes (7, 20). Sin embargo, aparentemente estas objeciones no sugieren la inutilidad de la resistencia vertical en cultivos perennes, sino que señalan el peligro de usarla en la forma tradicional de monogenes en variedades de gran uniformidad genética.

Importancia del manejo de la resistencia

El aspecto clave en cuanto a estabilidad parece estar en su manejo. En este sentido Browning (5) piensa que, en el futuro, serán imprescindibles programas de control integrado, que combinen dinámicamente resistencia horizontal y vertical con fungicidas sistémicos, ecológicamente seguros, para producir resistencia estable. Nelson (18) por su parte insiste en que, en el trabajo de selección, el énfasis debe ponerse sobre el manejo de la resistencia, más que en el tipo de mejoramiento empleado, concepto en que coincide con Browning (5): "El énfasis debe recaer más sobre el manejo que sobre el mejoramiento per se. El mejoramiento está dado; sus técnicas y filosofía son bien conocidos. Pero debemos aprender mucho sobre el manejo de genes, variedades y prác-

Jefe de la Sección de Fitomejoramiento del Centro Nacional de Investigaciones de café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

ticas culturales, cuyo efecto sea la resistencia durable".

La idea básica que se asocia con la estabilidad de la resistencia y que sustenta su posible manejo adecuado es la variabilidad del huésped. De vieja data es la observación de que las variedades sintéticas de cultivos alógamos, altamente heterocigóticos y heterogéneos, tienen un nivel adecuado de resistencia a las royas (3, 12, 22). Stevens (citado por Browning 6), atribuye esta efectiva protección contra las pestes a la diversidad genética misma, que hace posible contrarrestar la variabilidad de los patógenos, en los cultivos de polinización abierta.

El caso del maíz y su roya de la hoja constituyen un ejemplo clásico: a pesar de que Puccinia sorghi es un patógeno que abunda en la faja maicera de los Estados Unidos, y de que este hongo tiene una alta capacidad reproductiva en un ambiente favorable, las epifitias de esta roya no se presentan. Las líneas endocriadas que se emplean para producir híbridos presentan amplia variación en cuanto al área foliar infectada lo que indica variación en su resistencia, que se hereda poligénicamente y parece de tipo general (15).

Pero, por otra parte, ya en 1960 Sunneson (23) mostraba claramente la relación entre protección estable contra enfermedades y plagas y la diversidad genética de las variedades de cultivos autógamos. Su análisis de estas variedades heterogéneas de trigo, avena y cebada indicaba que la protección obtenida con porcentajes bajos de plantas resistentes podía mantenerse por muchos años.

La idea de las multilíneas propuestas inicialmente por Jensen (16) para el control de la roya en avena y luego para trigo, por Borlaug (4), se basa también en la utilización de la variabilidad. El éxito de esta técnica ha sido bien probado en el programa de avena de Iwa (6, 7) y en el de trigo en Méjico (11).

Vulnerabilidad y uniformidad genética

En contraste, la extrema uniformidad genética de los cultivares se ha asociado con los fracasos de la resistencia vertical, al provocar cambios espectaculares en la composición racial de los patógenos, que a su vez determinan los ciclos de auge y depresión de los cultivares, con graves consecuencias económicas (18). En tales cultivares cada planta es prácticamente idéntica a las demás y en condiciones adecuadas para el desarrollo de los patógenos, las epidemias no encuentran obstáculo alguno para su desarrollo. Browning (6) considera que estas epidemias generales - pandemias - son síntomas del verdadero problema que presentan los cultivos genéticamente vulnerables a las pestes, que no es otro que su uniformidad. Este fenómeno, agregado a las grandes áreas cultivadas con una sola variedad homogénea, fueron condiciones concomitantes a las epifitias causadas por Helminthosporium victoriae en las variedades Victoria-Richland de avena, que en 1945 ocupaba el 98% de los 5.3

millones de acres cultivadas en Iowa, y en la causada por Helminthosporium maydis que produjo un verdadero desastre en 1970, cuando 46 millones de acres estaban sembradas con híbridos portadores de citoplasma estéril de Texas y ocupaban un 80% del área cultivada.

A partir de este problema, la idea de introducir variabilidad como medio de producir resistencia estable y de hacer menos vulnerables los cultivos a las pestes, ha recibido un grande énfasis. Un hito inicial en este sentido lo constituye la publicación de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (13).

"Se debe diversificar genotipos y plasmotipos en los cultivos actuales -- dice Browning (5) - manejar cultivares y manejar genes en poblaciones vegetales para obtener resistencia estable a las enfermedades".

Resistencia estable en ecosistemas equilibrados

Se ha dado gran importancia teórica a los ecosistemas naturales en equilibrio, para investigar la forma en que la diversidad genética resulta en resistencia estable. En los controles de origen y diversidad genética se establece una coevolución progresiva entre huésped y parásito, que eventualmente alcanza un balance patológico, a través de las generaciones (14, 17). Resistencia de tipo vertical y horizontal, combinadas en diferentes formas, constituyen la base para alcanzar ese equilibrio.

Pero este balance puede restablecerse en ecosistemas naturales que han sido gravemente disturbados por el hombre, lo cual sugiere también que puede establecerse en ecosistemas agrícolas.

Browning (6) describe uno de ellos en las cercanías del mar de Galilea, en un ambiente desequilibrado repetidamente por el hombre, desde muchos siglos atrás. Un gran diversidad de especies vegetales y de sus patógenos caracterizan este ecosistema, en que se ha restablecido un equilibrio; árboles del género Quercus; Rhamnus (huésped alternante de la roya de la corona en la avena) y representantes silvestres de la cebada, el lino y plantas del género Ornithogallum (huésped alternante de la roya de la cebada) son componentes importantes de este sistema. En cuanto a los patógenos se observan Puccinia striiformis, Puccinia ordei, Uromyces sp., Erysiphe graminis y virus de enanismo, sobre sus huéspedes principales y alternantes. Algunas plantas están atacadas por estos patógenos, pero muchas están libres de enfermedades o con niveles muy bajos. En esta población extremadamente heterogénea se encuentran, pues, huéspedes y patógenos en ambientes favorables; sin embargo, las epidemias explosivas, comunes en poblaciones vegetales muy densas, son prácticamente imposibles aquí. Este sistema está amortiguado por diferentes clases de resistencia: resistencia general (huésped no compatible); resistencia general u horizontal; re-

sistencia específica; tolerancia; antagonismo; resistencia de poblaciones.

Desde luego esta heterogeneidad extrema no es posible en los cultivares comerciales. Entonces, cuánta diversidad es necesaria? Browning (6) tantas veces citado, menciona los trabajos de Wohl e Eyal en Israel. Estos encontraron que solo el 29% de sus muestras de avena silvestre en ese ecosistema eran resistentes, lo cual es sorprendente, pues indica que las plantas susceptibles no fueron eliminadas en el proceso de selección natural (observación anotada por Sumeson (23) en sus experiencias) y se concluye que porcentajes relativamente bajos de plantas resistentes puede proteger bien la población. Finalmente Browning examina el caso de las multilíneas en avena. En los experimentos de Iowa se midió la curva de producción de esporas de *P. coronata* sobre multilíneas y sobre variedades resistentes y susceptibles. Al comparariás con las variedades susceptibles, se concluye que las multilíneas estaban bien amortiguadas contra roya, similarmente a una variedad con resistencia general.

Por varios años las multilíneas han sido exitosamente empleadas en el agroecosistema de Iowa, caracterizado por un período corto para el desarrollo de la enfermedad. Lo que ocurre a estas multilíneas en un ambiente extremadamente favorable para la enfermedad, con un período muy prolongado, fue experimentado en Texas donde las multilíneas tuvieron también un comportamiento destacado y similar al de Iowa.

Estabilización de las poblaciones raciales de los patógenos

Alcanzar un equilibrio patológico entre organismos capaces de cambios rápidos y frecuentes en su virulencia, con poblaciones hospedantes con suficiente variación genética, es la meta propuesta en el trabajo de mejoramiento por resistencia. Esta cuestión, de interés primordial en los cultivos anuales, adquiere un carácter decisivo en las especies perennes, en que, por sus características, no puede alterarse la composición genética de sus cultivares, una vez establecidos.

Es explicable, en consecuencia, la duda que surge en cuanto a la posibilidad de que en las poblaciones multilíneas las razas virulentas a cada uno de los genes de resistencia vertical puedan presentarse más rápidamente que cuando esos genes se usan en sucesión, sobre variedades de línea pura (15).

La experiencia y observación en sistemas naturales sugiere, sin embargo, que aún en presencia de alta variación en los patógenos es posible obtener un equilibrio, por medio de la estabilización de las razas patogénicas. A este fin se encamina el manejo de la resistencia vertical (18). Es pertinente también recordar la insistencia de autoridades científicas, en la materia, en el hecho de que

con los conocimientos actuales sobre resistencia puede alcanzarse resistencia duradera (1, 2, 6, 8). Bingham y colaboradores (1) ha propuesto al "coexistencia" como una filosofía del mejoramiento. Los sistemas en equilibrio deben estudiarse, no como fuentes de germoplasma, sino de conocimiento que permitan llegar a obtener resistencia estable. Por este camino y por el empleo experimental de diversidad genética es muy probable hallar la respuesta a los interrogantes que plantea uso prudente de la resistencia vertical.

Incorporación de variabilidad a variedades de *Coffea arabica*.

Como en algunas especies forestales en Norte América (1), la roya del café en Iberoamérica ha estado caracterizada por la introducción del patógeno y por subsiguientes daños severos en grandes regiones. Pero al contrario de muchas de esas especies, el café arábigo es un cultivo predominantemente autógamo (9) en que la recuperación y condensación de los genes de resistencia no están facilitadas el sistema de reproducción.

Las variedades comerciales de café en Iberoamérica son marcadamente homogéneas (9). Muchos cultivares son selecciones locales de la antigua variedad Típica a Arábigo, introducida a principios del siglo XVIII, o de la variedad Borbón también introducida hace siglo y medio.

La variedad Caturra, cultivada con cierta intensidad en las últimas décadas es una mutación de un solo gen ocurrida en la variedad Borbón y comparte su homogeneidad. Algunos cultivares se han originado en híbridos naturales en las dos primeras variedades, por lo cual su variabilidad es restringida. En todos estos cultivares solo se ha detectado un gen de resistencia a la roya, inutilizado actualmente, por las razas comunes de *Hemileia vastatrix* que poseen el gen de virulencia complementario (21).

El mayor énfasis del programa de mejoramiento en café para Colombia se ha puesto, en consecuencia, en la incorporación y conservación de variabilidad genética tanto en los nuevos cultivares, como en el germoplasma utilizable comercialmente en el futuro próximo.

Con relación a la roya causada por *Hemileia vastatrix* se dispone de introducciones de *Coffea arabica* portadoras de genes mayores de resistencia, estudiadas por el Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto de Portugal, CIFIC (21). Estos genes se encuentran en materiales procedentes de la India y de Etiopía, centro de diversidad de esta especie. Además se han introducido algunos materiales de origen híbrido, entre los cuales se destaca el llamado Híbrido de Timor. La utilización de este material ha recibido énfasis primordial en Colombia por sus ventajas notables para la obtención de variabilidad genética.

Por su origen en cruzamientos naturales de C. arabica y C. cane-

phora, es de esperar, que, en las generaciones segregantes de sus cruzamientos con variedades comerciales de C. arabica, se libere una gran variación, como en efecto ha ocurrido. En las generaciones F2, F3 y F4 se ha observado notables variaciones en la longitud de las ramas primarias, su ángulo de inserción, cantidad y disposición de la ramificación secundaria. Las hojas también muestran una amplia gama de tamaños, formas, rugosidad de la superficie, disposición de ésta (plana o acanalada) y colocación con respecto al eje en la rama. El tamaño y forma de los frutos y semillas participan también de esta variabilidad.

En cuanto a la producción, se ha comprobado una variación dentro de las progenies notablemente mayor que la característica de las variedades comerciales (10).

Pero el aspecto más importante es, desde luego, la resistencia a la roya. Las pruebas de resistencia hechas en el CIFC de Portugal (21), dirigido por el Dr. Carlos Rodríguez, institución cuya decisiva colaboración en nuestro trabajo deseamos especialmente destacar y agradecer aquí, ha demostrado que en el Híbrido de Timor posee varios genes de resistencia diferentes de los genes detectados en C. arabica. Su número puede estar cercano a 4, de acuerdo con las proporciones de plantas "susceptibles" que se registran en las generaciones segregantes.

Es claro que estos genes, si segregan independientemente, generan un número muy grande de combinaciones genotípicas que utilizadas en una mezcla, constituirán un cultivar sumamente variable. La variación de carácter secundario, que no se refleje en disminuciones de la producción y en aspecto francamente indeseable, se mantiene en esta población. Por otra parte, se eliminan las plantas susceptibles o las que segreguen altas proporciones de este tipo de planta.

Se ha adelantado un programa de selección cuyo resultado ha sido un conjunto de 120 progenies F5, se espera seleccionar un 80% con el fin de formar la mezcla o compuesto que se pondrá en cultivo.

En el futuro este compuesto podrá enriquecerse con el producto de las nuevas selecciones hechas en recientes cruzamientos con el Híbrido de Timor y los programas de retrocruces. Igualmente entrarán a enriquecer la variabilidad genética de los cruzamientos obtenidos con plantas portadoras de resistencia de C. arabica actualmente en proceso de selección.

Las observaciones de señales de resistencia horizontal heredada poligénicamente en cruzamientos con el Híbrido de Timor permite esperar que esta variedad heterogénea sea una buena base para selecciones futuras por resistencia horizontal.

BIBLIOGRAFIA

1. BIGHAM, R.T., HOFF, R.J. and McDONALD, G.I. Disease resistance in forest trees. Annual Review of Phytopathology 9:433-452. 1971.
2. BORLAUG, N.E. Basic concepts which influence the choice of methods for use in breeding for disease resistance in cross-pollinated and self-pollinated crop plants. In NATO/NSF Advance. Symposium held the Pennsylvania State University, august 30 to september 11, 1964. Proceedings. 1964. pp. 327-348.
3. BORLAUG, N.E. Wheat, rust and people. Phytopathology (Estados Unidos) 55:1088-1098. 1965.
4. BORLAUG, N.E. and GIBLER, J.W. The use of flexible composite wheat varieties to control the constantly changing stem rust pathogen. Agronomy Abstracts 81. 1953.
5. BROWNING, J.A. Corn, wheat, rice, man: endangered species. Journal of Environmental Quality (Estados Unidos) 1(3):208-210.
6. BROWNING, J.A. Diversity - the only assurance against genetic vulnerability to disease in major crops. In Central States Forest Tree Improvement Conference, 9th october 10, 1974. Ames, Iowa State University, 1974. 23 p.
7. BROWNING, J.A. and FREY, K.J. Multiline cultivars as a means of disease control. Annual Review of Phytopathology 7:355-382. 1969.
8. BROWNING, J.A. et. al. Regional deployment for conservation of oat crown-rust resistance genes. Journal of Environmental Quality. 1:49-56. 1973.
9. CARVALHO, A. et al. Coffea arabica L. and Coffea canephora Pierre ex Froehner. In Ferwerda, F.P. and F. Wit. Outlines of perennial crop breeding in the tropics. Wageningen, H. Veenman & Zonen N.V. Miscellaneous papers no. 4. 1969. pp. 189-216.
10. CASTILLO Z., J. y MORENO R., G. Selección de cruzamientos derivados del Híbrido de Timor en la obtención de variedades mejoradas de café para Colombia. Cenicafé (Colombia). En prensa.
11. CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO. Multilíneas: gran proporción a salvo. México, s.f. 19 p. (EL CIMMYT HOY).

12. COYNE, D. P. and SCHUSTER, M. L. Genetic and breeding strategy for resistance to rust (Uromyces phaseoli Rieben Wint), in beans (Phaseolus vulgaris L.) Euphytica (Holanda) 24:795-803. 1975.
13. Genetic vulnerability of major crops. Washington, National Academy of Sciences, 1972. 307 p.
14. HOFF, R. J. and McDONALD, G. I. Stem rusts of conifers and the balance of nature. In Biology of rust resistance in forest trees. Proceedings of a NATO-IUFRO. Advanced Study Institute august 17-24, 1969. U.S. Department of Agriculture Forest Service Miscellaneous Publication no. 1221. 1972. pp. 525-535.
15. HOOKER, A. L. The genetics and expression of resistance in plants to rust of the genus Puccinia. Annual Review of Phytopathology 5:163-182. 1967.
16. JENSEN, N. F. Intra-varietal diversification in oat breeding. Journal of the American Society of Agronomy (Estados Unidos) 44:30-34. 1952.
17. LEPPIK, E. E. Gene centers of plants as sources of disease resistance. Annual Review of Phytopathology 8:323-344. 1970.
18. NELSON, R. R. Stabilizing racial populations of plant pathogens by use of resistance genes. Journal of Environmental Quality 1(3):220-227. 1972.
19. PLANK, J. E. Van Der. Disease resistance in plants. New York, Academic Press, 1968. 206 p.
20. ROBINSON, R. A. The search and need for horizontal resistance to coffee rust and prospects for similar resistance to CBD in Ethiopia. In Reunión de Consulta de Expertos sobre prevención de la Roya del Cafeto, Turrialba, Costa Rica, 27-29 noviembre, 1973. Turrialba, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1973. pp. 25-35.
21. RODRIGUEZ Jr., C. J., BETTENCOURT, A. J. and RIJO, L. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. Annual Review of Phytopathology 13:49-70. 1975.
22. STEVENS, N. E. Disease damage in clonal and self-pollinated crops. Journal of the American Society of Agronomy (Estados Unidos) 40:841-844. 1948.
23. SUNESON, C. A. Genetic diversity - a protection against plant diseases and insects. Agronomy Journal 52(6):319.321. 1960.