



Revista Mexicana de Fitopatología

ISSN: 0185-3309

mrlegarreta@prodigy.net.mx

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

México

Zúñiga López, Luz Noemí; Molina Galán, José Domingo; Cadena Hinojosa, Mateo Armando; Rivera Peña, Antonio

Resistencia al Tizón Tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en Cruzamientos de Cultivares y Clones de Papa (*Solanum tuberosum* L.)

Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 18, núm. 1, enero-junio, 2000, pp. 1-9

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61218101>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Resistencia al Tizón Tardío de la Papa (*Phytophthora infestans*) en Cruzamientos de Cultivares y Clones de Papa (*Solanum tuberosum* L.)

Luz Noemí Zúñiga-López, Centro Internacional de la Papa (CIP), Apartado 5969, La Molina, Lima, Perú; **José Domingo Molina-Galán**, Especialidad de Postgrado en Genética, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México CP 56230; **Mateo Armando Cadena-Hinojosa**, CEVAMEX-INIFAP, Campo Experimental Valle de México, Apdo. Postal 10, Chapingo, Edo. de México CP 56230; y **Antonio Rivera-Peña**, Programa de Papa, INIFAP- Campo Experimental Toluca, Apdo. Postal 31, Metepec, Edo. de México CP 52140.

(Recibido: Enero 17, 2000 Aceptado: Junio 26, 2000)

Resumen. Bajo condiciones de campo en el Valle de Toluca, México, se estudió el grado de resistencia a *P. infestans*, los efectos de aptitud combinatoria general (g_i) y de aptitud combinatoria específica (s_{ij}) en las 40 progenies provenientes de cruzar 10 progenitores femeninos resistentes a *P. infestans* con cuatro progenitores masculinos con resistencia desconocida a *P. infestans*. Las variables de campo que se midieron fueron: a) tiempo de aparición de síntomas (TAS), b) área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), c) tasa de desarrollo de la enfermedad (bi), d) peso de tubérculo por planta y e) número de tubérculos por planta. Las variables estudiadas fueron eficientes para medir la variabilidad genética de los materiales. Los progenitores femeninos 7, 4 y 9 y los masculinos 1 y 4 fueron clasificados como los más resistentes, basándose en los mejores valores de TAS, ABCPE y bi. Las correlaciones de TAS con ABCPE y bi fueron negativas; ABCPE y bi resultaron positivamente correlacionadas. Se encontró alta concordancia entre los efectos de g_i y el grado de resistencia de los progenitores.

Palabras clave adicionales: Resistencia genética, aptitud combinatoria general, componentes de varianza genética.

Abstract. Under field conditions at Toluca Valley, México, the grade of field resistance to *P. infestans*, general combining ability (g_i) and specific combining ability (s_{ij}) effects were studied in the progenies of crossing 10 *P. infestans* resistant female parents to four male parents with unknown resistance to *P. infestans*. The field variables measured were: a) time of symptom appearance (TSA), b) area under the disease progress curve (AUDPC), c) disease rate development (bi), d) tuber weight per plant and, e) number of tubers per plant. The variables studied were efficient to measure the genetic variability of the material. Female parents 7, 4 and 9 and male parents 1 and 4 were classified as the most resistant based on

the best TSA, AUDPC and bi. The correlations of TSA with AUDPC and bi were negative; AUDPC and bi were positively correlated. A high concordance between g_i effects and grade of resistance of progenitors was found.

Additional keywords: Genetic resistance, general combining ability, components of genetic variance.

El tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, es la enfermedad fungosa más importante del cultivo de la papa; es de carácter destructivo donde quiera que se siembre este cultivo sin aplicación de fungicidas, excepto en áreas cálidas, secas y bajo riego (Hooker, 1980). En el pasado, el mejoramiento genético de la papa para resistencia a enfermedades estuvo orientado hacia la incorporación de genes de resistencia vertical; pero esta resistencia es monogénica y de corta duración debido a la capacidad del patógeno para generar nuevas razas. Después de la tragedia de Europa por el ataque de *P. infestans* entre 1840 y 1860, en los programas de mejoramiento se tuvo un éxito espectacular con la introducción de genes R de *Solanum demissum*; sin embargo, las poblaciones del hongo se modificaron hacia el predominio de razas compatibles, por lo que la resistencia conferida a cada variedad duraba poco tiempo (Henfling, 1987; Niederhauser, 1989). Actualmente se conocen 16 genes R y 16 genes correspondientes de virulencia del hongo, los cuales, si se consideran dos alelos por locus, todas sus combinaciones teóricamente posibles (2^{16}) generarían 65536 razas (Ingram y Williams, 1991); esto explica la gran variabilidad genética del hongo. México es considerado como el centro de diversidad genética del hongo (Rivera-Peña, 1988), siendo el valle de Toluca y la Sierra Central Mexicana, el área de dispersión (Niederhauser *et al.*, 1954). La resistencia horizontal es de naturaleza cuantitativa y está determinada por muchos factores, entre ellos: resistencia de

la cutícula y de las células de la epidermis de la planta, fuerza mecánica de la pared celular, acción de las enzimas producidas por el hongo, actividad de sustancias en las hojas para inhibir la germinación y penetración de las esporas, el número de estomas, etc. (Henfling, 1987). En los últimos tiempos, algunos programas de mejoramiento se han orientado hacia la obtención de variedades con resistencia horizontal controlada por la acción de genes menores, por ser este tipo de resistencia más estable y duradera que la resistencia vertical. En estudios sobre el desarrollo de enfermedades monocíclicas y policíclicas en plantas, se han usado funciones de crecimiento para estimar el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). Berger y Jones (1985) derivaron un modelo combinando el proceso de infección con el crecimiento de las plantas. Shaner y Hess (1978) mencionan que el tiempo de aparición de síntomas tiene efecto en la curva del progreso de la enfermedad y la extensión de la infección en tiempo. Las lesiones pueden aparecer en varios días, semanas o meses después de la inoculación, dependiendo del patosistema. Colon y Budding (1988) estudiaron la resistencia al tizón tardío en diez especies silvestres de papa. El grado de resistencia a *P. infestans* lo evaluaron mediante el cálculo de la ABCPE, observando que ésta decreció en el mismo grado en que la fecha de inoculación fue retardada. En relación con la tasa de desarrollo (bi) de la enfermedad, mencionan que fue más lenta en cultivares moderadamente resistentes, que en los susceptibles. Por otro lado, Rowe (1969) al estimar los componentes de varianza genética para número y peso de tubérculos en *S. phureja*, observó que las varianzas genética aditiva (s^2_A) y de dominancia (s^2_D) resultaron iguales en magnitud. Zúñiga (1989) encontró valores altos de s^2_A para rendimiento y valores de heredabilidad (h^2) superiores a 0.40 para peso y número de tubérculos. Malcolmson y Killick (1980) encontraron clones con buena aptitud combinatoria general (g_i) para resistencia a *P. infestans* en follaje y tubérculo. Basándose en los antecedentes citados, el presente trabajo se desarrolló bajo los siguientes objetivos: 1) Estimar el grado de resistencia al tizón tardío (*P. infestans*) de cruzamientos de cultivares y clones de papa (*S. tuberosum* L.) basándose en las siguientes variables consideradas como indicadoras de resistencia: tiempo de aparición de síntomas (TAS), área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y tasa de desarrollo de la enfermedad (b_i). También se estudiaron las variables evaluación final de la enfermedad y los componentes del rendimiento, peso y número de tubérculos por planta. 2) Estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General (g_i) y Aptitud Combinatoria Específica (s_{ij}) de los progenitores y sus cruzas para las variables indicadoras de resistencia, evaluación final de la enfermedad y las variables componentes del rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 1993 en las instalaciones del Programa de Papa en el Campo Experimental Toluca (CETOLUCA) del

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) en la localidad de Metepec, Estado de México.

Material Genético. El material genético (40 cruzas) provino de cruzar diez progenitores femeninos con resistencia a *P. infestans* con cuatro progenitores masculinos con resistencia desconocida a *P. infestans*. Estos materiales fueron proporcionados por el Centro Internacional de la Papa (CIP). Metodología. Se hicieron almárgicos de la semilla botánica de las 40 cruzas F₁ (150 semillas por cruza). Las plántulas se transplantaron al campo en parcelas experimentales bajo un diseño estadístico de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela experimental estuvo constituida por 30 plantas. En la separación entre bloques y alrededor de todo el experimento, se sembraron algunas variedades comerciales susceptibles a *P. infestans* para que sirvieran como fuente de inóculo. Las plantas estuvieron expuestas a la infección natural. Para evaluar el área dañada del follaje se utilizó la escala visual 1 a 9 propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP) donde: 1 es planta sin ninguna lesión y 9 es planta con 100% de daño. Por desconocer el progreso de la enfermedad, al principio se hicieron lecturas diarias durante ocho días; al conocer el progreso se hicieron cada cuatro días y después cada siete días, tomándose un total de 17 lecturas: 8, una diaria durante ocho días; 3 con separación de cuatro días; y 6 con separación de siete días. La última toma de datos (Eval. final), se hizo a los 63 días, cuando ya no se observó progreso de la enfermedad y la planta se encontraba en fase de floración. El comportamiento de la enfermedad en cada una de las cruzas se evaluó mediante las siguientes variables, consideradas aquí como indicadoras de resistencia: tiempo de aparición de síntomas (TAS); número de días desde el establecimiento del cultivo (7 días después del trasplante) hasta la aparición de los primeros síntomas; tasa de desarrollo de la enfermedad, definida por el coeficiente de regresión (bi) del porcentaje de follaje dañado observado en cada lectura sobre el número de días transcurridos en cada lectura; área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) en el follaje, es una medida de la cantidad de enfermedad desarrollada en la planta; para esto se usó la fórmula propuesta por Pandey *et al.* (1989):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n [(X_i + X_{i+1})/2] T_i$$

Donde:

X_i = Porcentaje de daño causado por *P. infestans* en el follaje en la lectura i .

T_i = Tiempo en días transcurrido desde la lectura i a la lectura $i+1$

n = Número total de lecturas.

Evaluación final de la enfermedad (Eval. final). Porcentaje de daño del follaje a los 63 días, cuando ya no se observó progreso de la enfermedad. El tiempo de aparición de

síntomas, el ABCPE y la tasa de desarrollo (bi), al ser variables cuantitativas, pueden tomar cada una diferentes valores, y su combinación puede dar lugar a un infinito número de clases. Considerando sólo tres niveles para cada variable, se podría tener 27 clases de respuesta de campo a la infección patogénica. A manera de ejemplo, estos tres niveles de cada variable podrían ser: TAS largo, intermedio y corto; ABCPE chica, mediana y grande; bi pequeño, mediano y grande. La cosecha se realizó por planta en cada cruz, y se evaluó el número y peso de tubérculos por planta (Núm. tub/pta y Peso tub/pta).

Efectos de aptitud combinatoria general (g_i) y componentes de varianza genética. La estructura del apareamiento de los progenitores correspondió a un arreglo factorial, Diseño II de Comstock y Robinson (1948) que incluye progenies de hermanos completos y progenies de medios hermanos. Para la estimación de los efectos g_i y s_{ij}, se utilizaron las fórmulas para el diseño factorial, Diseño II de Comstock y Robinson (1948). Se estableció la correlación fenotípica entre el TAS, bi, el ABCPE y las variables componentes del rendimiento. Para la estimación de componentes de varianza genética se consideró un modelo genético para una población autotetraploide (Levings y Dudley, 1963; Thompson y Mendoza, 1984). La heredabilidad se estimó en sentido restringido (Hallauer y Miranda, 1981).

RESULTADOS

Grado de resistencia

Cruzas. En el Cuadro 1 se observa que las Cruzas 9, 24, 28 y 35, presentaron los valores de TAS más largos, por lo cual fueron calificados como resistentes; por otro lado, las cruzas 10, 18, 19 y 22 se catalogaron como susceptibles por presentar los valores de TAS más cortos. Para la variable ABCPE, se observa que la cruz 25 presentó la menor área con 129.8 unidades, seguida por las cruzas 27, 33, 40 y 26 con valores de 222.1, 227.1, 282.2 y 283.2 unidades, respectivamente; estas cruzas se catalogaron como resistentes. Las cruzas 13 y 12 presentaron los menores daños en la Eval. final. Los mayores porcentajes de daño se observaron en las cruzas 3 y 10, con 79.0 y 75.6% de daño, respectivamente. Con respecto a peso de tub/pta, las cruzas 15 y 37 presentaron los valores más altos con 149.5 y 134.4, respectivamente. Por el contrario, la cruz 22 presentó el rendimiento más bajo con 30.2. En número de tub/pta, la cruz 25 tuvo el mayor número (18.0) y las cruzas 3 y 22 tuvieron los valores más bajos (3.6).

Progenitores. Para las variables TAS, ABCPE, bi y Eval. final, los progenitores femeninos 7, 4, y 9, (Cuadro 2) y los masculinos 1 y 4 (Cuadro 3) presentaron los valores más favorables, y entre ellos no existió diferencia estadística significativa; por sus valores, estos progenitores fueron catalogados como resistentes. Por otra parte, los progenitores femeninos 5, 8 y 1 y los masculinos 2 y 3 fueron calificados como susceptibles por presentar los valores más bajos para tiempo de aparición de síntomas y los más altos, para bi y en cierto grado también para ABCPE. Entre estos progenitores

tampoco hubo diferencia estadística significativa. En lo concerniente a los componentes del rendimiento, (peso y núm. de tub./pta.) se observa que el progenitor femenino 4, (Cuadro 2) tuvo el mayor rendimiento (peso y núm. de tub/pta), seguido por el progenitor 10. Entre los progenitores masculinos, el progenitor 1 (Cuadro 3) tuvo el mayor peso y número de tub/pta. El progenitor 2 presentó los valores más bajos tanto para peso como para número de tub/planta, con valores de 52.95 g y 6.23 g, respectivamente. En relación con el comportamiento de las variedades testigo (cuadro 4) la variedad Anita presentó el TAS más largo (25.4), el ABCPE más pequeña (593.14) así como, el bi más bajo (0.46); seguida por la variedad Diamante. Por otro lado, las variedades Timate, Liseta y Morene sufrieron 100% de daño.

Correlación fenotípica. La correlación de TAS con ABCPE y bi fue negativa y positiva con número de tub/pta. El ABCPE correlacionó positivamente con bi, evaluación final, peso y número de tubérculos por planta. Eval. final y bi, presentaron correlación negativa con los componentes del rendimiento. Entre peso y número de tub/planta la correlación resultó positiva (Cuadro 5).

Efectos de aptitud combinatoria general (g_i). Se observa que para TAS el mayor efecto g_i lo tuvieron el progenitor femenino 7 (Cuadro 6) y el progenitor masculino 1 (Cuadro 7). Los progenitores femeninos 2, 6, 1, y 5 presentaron efectos g_i negativos. Con relación a las variables ABCPE, bi y Eval. final, se observa que los progenitores femeninos 7, 9 y 10 y los masculinos 1 y 4 tuvieron los valores más bajos de g_i, por lo que fueron catalogados como resistentes y buenos combinadores. El progenitor femenino 1 y el masculino 2 fueron catalogados como susceptibles, porque tuvieron los valores g_i más altos para ABCPE, bi y evaluación final. Los progenitores femeninos 8 y 5 presentaron los valores más bajos de g_i para tiempo de aparición de síntomas; sin embargo, para las variables ABCPE, bi y Eval. final, mostraron efectos de g_i intermedios, por lo que fueron catalogados como tolerantes. En lo concerniente a las variables componentes del rendimiento, los progenitores femeninos 4, 10, 7 y 2 presentaron los mayores valores de g_i para peso y número de tubérculos. El progenitor masculino 1 tuvo el mayor valor de g_i, tanto para peso como para número de tub/pta por lo que fue calificado como buen combinador para estas variables.

Efectos de aptitud combinatoria específica (s_{ij}). Para las variables indicadoras de resistencia, se observa (Cuadro 8) que la cruz 17 tuvo el valor más bajo de s_{ij} para ABCPE, Tasa de desarrollo de la enfermedad y Eval. final con valores de -283.28, -0.16 y -12.95, respectivamente. Otra cruz que sobresalió fue la 9, con valor de 0.16 para tasa de desarrollo de la enfermedad, -243.21 para ABCPE y 2.57 para tiempo de aparición de síntomas. Con respecto a los componentes del rendimiento, la cruz 15 mostró el mayor valor de s_{ij} para la variable peso de tub/pta. y se ubica entre los mejores para núm. de tub/planta con valores de 63.94 g. y 3.5 tubérculos, respectivamente (Cuadro 8).

Componentes de varianza genética. Para tiempo de aparición

Cuadro 1. Valores promedio de cinco variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* y del peso y número de tubérculos por planta de 40 cruzas de variedades de papa (*Solanum tuberosum*), Toluca, México, 1993.

Cruza	Progenitor*		TAS (días)	ABCPE	bi	Eval. final (%)	Peso (g) tub/pta	Número de tub/pta
	F	M						
1	1 x 1		25.0	534.4	0.56	57.4	55.17	6.66
2	1 x 2		22.6	1086.9	0.87	71.5	42.90	4.66
3	1 x 3		21.0	794.9	0.73	79.0	38.71	3.66
4	1 x 4		21.0	588.4	0.65	75.2	42.19	5.66
5	2 x 1		24.3	572.8	0.60	44.9	92.01	11.33
6	2 x 2		23.3	671.4	0.61	42.3	62.48	8.66
7	2 x 3		19.6	1097.9	0.77	43.1	41.63	7.00
8	2 x 4		23.0	686.2	0.63	55.0	64.63	5.33
9	3 x 1		26.6	305.7	0.38	46.5	50.17	9.00
10	3 x 2		17.3	1539.2	0.99	75.6	35.71	4.66
11	3 x 3		25.6	507.8	0.54	42.1	55.93	7.66
12	3 x 4		26.0	333.9	0.46	32.4	59.00	8.33
13	4 x 1		25.6	327.6	0.45	32.2	112.15	15.66
14	4 x 2		23.0	640.5	0.59	48.0	105.53	8.33
15	4 x 3		24.0	323.8	0.44	35.7	149.55	13.00
16	4 x 4		23.6	363.9	0.48	34.7	72.18	9.33
17	5 x 1		22.6	260.1	0.40	36.1	62.21	11.00
18	5 x 2		17.6	1235.3	0.91	63.5	42.61	5.00
19	5 x 3		18.0	610.8	0.60	51.6	43.66	6.33
20	5 x 4		20.6	536.1	0.58	54.7	59.07	7.00
21	6 x 1		22.6	770.9	0.69	51.4	41.89	5.66
22	6 x 2		18.0	1039.8	0.82	68.9	30.29	3.66
23	6 x 3		22.6	1091.9	0.90	60.2	37.70	4.33
24	6 x 4		26.6	504.6	0.59	61.7	53.41	6.00
25	7 x 1		25.6	129.8	0.30	39.9	108.79	18.00
26	7 x 2		25.6	283.2	0.43	41.7	59.05	7.33
27	7 x 3		26.0	222.1	0.35	39.7	79.73	9.33
28	7 x 4		26.6	324.7	0.48	56.6	44.30	8.00
29	8 x 1		19.6	734.2	0.69	61.7	65.55	7.33
30	8 x 2		25.6	549.8	0.66	64.5	38.90	6.00
31	8 x 3		21.6	820.5	0.65	57.0	59.74	6.33
32	8 x 4		20.6	387.1	0.47	49.9	82.73	8.33
33	9 x 1		26.0	227.1	0.39	53.8	56.91	11.66
34	9 x 2		21.3	614.5	0.61	57.6	39.68	6.66
35	9 x 3		26.3	346.5	0.49	40.5	31.20	6.00
36	9 x 4		22.3	504.7	0.54	43.9	43.50	6.33
37	10 x 1		24.3	398.9	0.47	43.1	134.40	13.66
38	10 x 2		20.0	777.4	0.62	53.4	72.43	7.33
39	10 x 3		24.3	420.8	0.53	42.4	75.89	8.66
40	10 x 4		25.0	282.2	0.43	46.0	70.59	7.00
DSH			8.039	665.0		33.3	85.693	5.76

*F = Femenino, M = Masculino

de síntomas, s^2A resultó mayor que s^2D , mientras que lo contrario ocurrió para ABCPE y Eval. final ($s^2A > s^2D$) (Cuadro 9); heredabilidad (h^2) resultó relativamente baja (27%) para TAS y ABCPE y mucho más baja para Eval. final. En la variable Peso de tub/pta, s^2D resultó mayor que s^2A y h^2 presentó un valor relativamente bajo (18%). En la variable número de tub/

pta, los componentes s^2A y s^2D resultaron casi de la misma magnitud, pero h^2 resultó relativamente alta (48%).

Cuadro 2. Valores promedio de cuatro variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans*. y del peso y número de tubérculos por planta de los diez progenitores femeninos, Toluca, México, 1993.

Progenitor femenino	TAS (días)	ABCPE	bi	Evaluación final (%)	Peso (g) tub/pta	Número de tub/pta
7. I-1150	26.0 A	239.96 C	0.395 J	44.5 DE	72.97 BC	10.66 AB
4. BL-2.9	24.0 AB	413.94 BC	0.496 I	37.7 E	109.85 A	11.58 A
9. MEX750847	24.0 AB	423.19 BC	0.514 H	48.9 BCDE	42.82 C	7.66 C
3. 575049	23.9 AB	671.63 AB	0.598 F	49.1 BCDE	50.20 C	7.41 CD
10. Tollocan	23.4 AB	469.84 BC	0.516 G	46.2 CDE	88.33 AB	9.16 BC
2. 386206.4	22.5 BC	757.09 A	0.658 C	46.3 CDE	65.19 BC	8.08 C
6. I-1035	22.5 BC	851.80 A	0.755 A	60.6 AB	40.82 C	4.91 E
1. 381378.22	22.4 BC	751.14 A	0.707 B	70.8 A	44.74 C	5.16 DE
8. MEX750821	21.9 BC	622.89 AB	0.622 E	58.3 ABC	61.73 BG	7.00 CDE
5. CFC-69.1	19.7 C	660.56 AB	0.626 D	51.5 BCD	51.89 C	7.33 CD
DSH	3.2	267.72		13.4	34.498	2.321

Cuadro 3. Valores promedio de cuatro variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* y del peso y número de tubérculos por planta de los progenitores masculinos Toluca, México, 1993.

Progenitor Masculino	TAS (días)	ABCPE	bi	Evaluación final (%)	Peso (g) tub/pta	Número de tub/pta
1 XY-13	24.2 A	426.14 A	0.497 A	46.7 A	77.92 A	11.00 A
4 XY-9	23.5 A	451.18 A	0.536 B	51.0 A	59.16 B	7.13 B
3 XY-4	22.9 AB	623.69 B	0.606 C	49.1 A	61.37 AB	7.23 B
2 XY-16	21.4 B	843.80 C	0.717 D	58.7 B	52.95 B	6.23 B
DSH	1.6	136.48		6.8	17.58	1.18

Cuadro 4. Valores promedio de cuatro variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* de las variedades testigo. Toluca, México, 1993.

Cultivar	TAS	ABCPE	bi	Eval. final (%)
Timate	13.8	2373.32	1.88	100
Humalda	14.4	1912.95	1.68	85
Lizeta	13.8	2823.36	2.05	100
Diamante	16.2	226.71	0.18	30
Morene	13.6	2778.72	2.04	100
Patrones	14.0	2030.18	1.61	80
Cardinal	12.8	2008.83	1.63	95
Atlantic	14.8	2049.97	1.73	95
Procura	16.0	1777.06	1.49	75
Avenir	14.8	1602.95	1.32	80
Marijke	16.6	2219.72	1.80	93
Prumax	17.2	1542.76	1.30	60
Ropta	15.6	2219.72	1.80	93
Anita	25.4	593.14	0.46	35
Dunja	15.4	1205.88	1.15	80

DISCUSIÓN

Grado de resistencia.

Cruzas. Sobre la base de que el tiempo de aparición de síntomas (TAS), el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y el Coeficiente de regresión del porcentaje de follaje dañado sobre el tiempo (bi) son variables cuantitativas y de que la respuesta promedio de progenitores presenta variación en cuanto al grado de resistencia, es de esperarse que sus cruzas también presenten variación y que entre ellas ocurran algunas con mayor grado de resistencia y otras con mayor grado de susceptibilidad que los progenitores; esto fue lo que ocurrió, al menos para algunas variables. Así, las Cruzas 9, 24 y 28 (Cuadro 1) tuvieron TAS más largo que el mejor progenitor femenino 7 y el masculino 1 (Cuadros 2 y 3); las Cruzas 25, 27 y 33 (Cuadro 1) tuvieron menor valor de ABCPE y bi que el mejor progenitor femenino 7 y el masculino 1 (Cuadros 2 y 3). En relación con Evaluación final, las Cruzas 12, 13, 15, 16 y 17 (Cuadro 1) tuvieron menor porcentaje de daño al follaje que el progenitor femenino 4 y el masculino 1 (Cuadros 2 y 3). Por otro lado, las Cruzas 10 y 18 (Cuadro 1) tuvieron valores de Tiempo de aparición de síntomas más pequeño que el progenitor femenino más susceptible 5, así como el mayor valor para ABCPE, bi y Evaluación final (Cuadros 2 y 3). Este resultado de las Cruzas es muy importante desde el punto de vista del mejoramiento

Cuadro 5. Correlación fenotípica entre variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* y componentes del rendimiento. Toluca, México, 1993.

Variabes	TAS (días)	bi	Eval. final	Peso tub/pta	Núm. tub/pta
ABCPTT	-0.580**	0.851**	0.471**	-0.317**	-0.509**
TAS		-0.556**	-0.335**	0.110ns	0.353**
Bi			0.587**	-0.406**	-0.637**
Eval. final				-0.419**	-0.561**
Peso tub/pta					0.688**

Cuadro 6. Efectos de aptitud combinatoria general (g) de los progenitores femeninos, para las variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* y del peso y número de tubérculos por planta. Toluca, México. 1993.

Progenitor Femenino	TAS (días)	ABCPE	bi	Eval. final (%)	Peso tub/pta	Núm. tub/pta
7 I-1150	2.90	-346.24	-0.193	-6.91	10.12	2.77
4 BL-2.9	1.03	-172.26	-0.092	-13.72	47.00	3.69
9 MEX750847	0.95	-163.01	-0.074	-2.46	-20.01	-0.25
3 575049	0.86	85.43	0.010	-2.25	-12.65	-0.48
10 Tollocan	0.36	-116.36	-0.072	-5.16	25.48	1.27
2 386206-4	-0.47	170.89	0.070	-5.05	2.34	0.19
6 I-1035	-0.55	265.60	0.164	9.18	-22.03	-2.98
1 381378-22	-0.64	164.90	0.117	19.40	-18.11	-2.73
8 MEX750821	-1.14	36.69	0.034	6.88	-1.12	-0.89
5 CFC-69.1	-3.30	74.36	0.038	0.09	-10.96	-0.56

Cuadro 7. Efecto de aptitud combinatoria general (g) de los progenitores masculinos para las variables indicadoras de resistencia a *Phytophthora infestans* y del peso y número de tubérculos por planta. Toluca, México, 1993.

Progenitor Masculino	TAS (días)	ABCPTT	bi	Eval. final (%)	Peso tub/pta	Núm. tub/pta
1 XY-13 1.25	-160.06	-0.091	-4.67	15.07		3.11
4 XY-9	0.51	-135.02	-0.052	-0.38	-3.69	-0.76
3 XY-4	-0.17	37.48	0.018	-2.25	-1.48	-0.66
2 XY-16 -1.59	257.60	0.125	7.30	-9.90		-1.69

genético, ya que es de esperar que las combinaciones entre progenitores, principalmente resistentes, produzcan progenies más resistentes que ellos.

Progenitores. Los progenitores femeninos 7, 4 y 9 y los masculinos 1 y 4 (Cuadros 2 y 3) registraron con toda claridad los valores más favorables para las variables indicadoras de resistencia; a mayor tiempo de aparición de síntomas, menor ABCPE, y menor bi. Basándose en estos resultados, los progenitores mencionados pueden catalogarse como resistentes a *P. infestans*. Los valores de evaluación final estuvieron en plena concordancia con los del número de tubérculos por planta y no lo estuvieron con los de peso de tubérculo. Podría interpretarse de estos resultados que el número de tubérculos por planta disminuye proporcionalmente con el grado de severidad de la enfermedad, mientras que el peso de tubérculos por planta

depende del genotipo de los progenitores. Así, los progenitores femeninos 4 y 9 (cuadro 2) resultaron con buen grado de sanidad; sin embargo, el 4 tuvo el mayor peso de tubérculos y el 9 el menor. Asimismo, los progenitores 7 y 4 resultaron de alto rendimiento y surge la duda de si las variables TAS, ABCPE y bi son realmente indicadoras del grado de resistencia de campo; entre las variedades usadas como testigos (Cuadro 4) estuvieron Anita y Diamante, las cuales registraron el mayor valor de TAS, la menor ABCPE y el menor valor de bi. De lo anterior se infiere que dichas variables efectivamente son indicadoras de la resistencia. Otra confirmación de lo anterior la ofrecen los resultados del análisis de correlación entre las variables indicadoras de resistencia (Cuadro 5). Al comparar los progenitores masculinos más resistentes 1 y 4 (Cuadro 3) con los progenitores femeninos más resistentes, 7, 4 y 9 (Cuadro 2), se encuentra que los

Cuadro 8. Efectos de aptitud combinatoria específica (s_{ij}) de cruza de variedades de papa (*S. tuberosum*) para las variables indicadoras de resistencia a *P. infestans* y del peso y número de tubérculos por planta Toluca, México. 1993.

Cruza	Progenitor		TAS (días)	ABCPE	bi	Eval. final (%)	Peso (g) tub/pta	Número de tub/pta
	F	M						
1	1 x 1		1.66	-54.27	-0.03	-1.32	-6.16	-1.5
2	1 x 2		0.72	289.42	0.16	6.8	-5.94	-1.0
3	1 x 3		-1.67	107.43	0.08	19.06	-14.34	-2.5
4	1 x 4		-1.98	-12.69	0.02	12.07	-9.76	-0.5
5	2 x 1		0.91	-18.77	0.02	-1.65	20.46	1.5
6	2 x 2		1.31	-129.01	-0.06	-10.23	3.41	2.0
7	2 x 3		-3.09	407.50	0.14	-4.49	-21.64	-0.5
8	2 x 4		-0.07	82.08	0.04	6.29	2.46	-2.5
9	3 x 1		2.57	-243.21	-0.16	-1.41	-13.89	-0.5
10	3 x 2		-5.52	781.45	0.34	21.64	-15.87	-2.0
11	3 x 3		2.24	-139.84	-0.05	-7.04	0.18	0.5
12	3 x 4		2.20	-227.48	-0.10	-17.67	4.31	0.5
13	4 x 1		1.49	-92.37	-0.04	-10.01	18.26	4.5
14	4 x 2		0.23	11.66	-0.01	-0.14	24.13	-1.0
15	4 x 3		0.49	-194.94	-0.10	-7.67	63.94	3.5
16	4 x 4		-0.16	-69.16	-0.02	-9.59	-12.32	-0.5
17	5 x 1		0.65	-283.28	-0.16	-12.95	-2.69	1.8
18	5 x 2		-2.94	483.14	0.24	8.37	-9.80	-1.5
19	5 x 3		-3.34	-31.33	-0.01	1.29	-12.96	-1.0
20	5 x 4		-0.99	-19.74	0.01	3.47	3.55	0.0
21	6 x 1		-0.72	131.90	0.07	-4.35	-17.48	-2.0
22	6 x 2		-3.98	191.98	0.08	9.3	-16.59	-1.5
23	6 x 3		-0.05	354.19	0.22	5.32	-13.39	-2.0
24	6 x 4		3.63	-146.86	-0.05	5.94	3.42	0.0
25	7 x 1		0.53	-203.21	-0.13	-5.65	33.35	7.1
26	7 x 2		1.93	-258.63	-0.12	-9.87	-3.90	-1.5
27	7 x 3		1.53	-209.72	-0.14	-7.14	12.56	0.0
28	7 x 4		1.88	-20.85	0.02	8.86	-21.76	-1.0
29	8 x 1		-3.42	209.69	0.13	9.25	-4.27	-2.0
30	8 x 2		3.17	-183.58	-0.002	5.97	-18.44	-0.5
31	8 x 3		-0.76	197.18	0.04	3.29	-1.81	-1.0
32	8 x 4		-2.07	-149.89	-0.10	-4.71	22.28	1.0
33	9 x 1		1.87	-197.52	-0.10	5.98	-3.46	2.6
34	9 x 2		-1.40	404.21	0.004	3.75	-8.2	1.5
35	9 x 3		2.86	-176.98	-0.06	-8.57	-20.89	0.0
36	9 x 4		-1.45	67.50	0.01	-6.08	51.28	0.0
37	10 x 1		0.49	-49.12	-0.03	-3.32	51.28	3.5
38	10 x 2		-2.43	120.62	0.01	0.96	1.79	-0.5
39	10 x 3		1.16	-125.94	-0.02	-5.30	1.04	1.0
40	10 x 4		1.51	-178.25	-0.09	-2.64	-3.15	-1.0

progenitores masculinos son menos resistentes que los femeninos. Esto era de esperarse, ya que los progenitores femeninos se seleccionaron por su alta resistencia de campo; mientras que los progenitores masculinos fueron de resistencia desconocida; sin embargo, resultaron más resistentes que los progenitores femeninos más susceptibles 5, 8 y 1 (Cuadros 3 y 2, respectivamente). Adicionalmente, los

progenitores masculinos 1 y 4, además de tener buen grado de resistencia, también tuvieron buena capacidad de producción, tanto en peso como en número de tubérculos por planta (Cuadro 3). Por otro lado, los progenitores masculinos más susceptibles resultaron tan susceptibles como los progenitores femeninos más susceptibles (Cuadros 3 y 2, respectivamente).

Cuadro 9. Estimadores de los componentes de varianza genética ($\sigma^2 A$, y $\sigma^2 D$) y heredabilidad (h^2) de las variables indicadoras de resistencia a *P. infestans* y del peso y número de tubérculos por planta Toluca, México. 1993.

Variables	$\sigma^2 A$	$\sigma^2 D$	$\sigma^2 A / \sigma^2 D$	h^2
TAS (días)	3.161	2.278	1.3878	0.2782
ABCPTT	101774.66	234213.81	0.4345	0.2702
Eval. Final	55.531	214.719	0.2586	0.1491
Peso tub/pta	269.360	536.581	0.5019	0.1821
Núm. tub/pta	15.150	13.141	1.1528	0.4834

Aptitud combinatoria general

Los valores de g_i para TAS miden la resistencia a *P. infestans* en sentido directo, mientras que los de g_i para ABCPE y bi la miden en sentido inverso; por esta razón los progenitores femeninos 7, 4 y 9 (cuadro 6) y los masculinos 1 y 4 (Cuadro 7), se catalogaron como resistentes por tener los valores más altos de TAS y los menores de ABCPE y bi (mayores valores con signo negativo). A esta misma clasificación se llegó con los valores de TAS, ABCPE y bi (Cuadros 2 y 3). Estos progenitores son buenos combinadores y pueden servir de base en programas de mejoramiento genético para resistencia a *P. infestans*, bien sea como progenitores o mediante su recombinación en programas de selección recurrente. Por el contrario, los progenitores femeninos 6 y 1 (Cuadro 6) y los masculinos 3 y 2 (Cuadro 7), tuvieron valores de g_i negativos numéricamente altos para Tiempo de aparición de síntomas y positivos numéricamente altos para ABCPE y bi. Estos progenitores son malos combinadores, por lo que no se espera de ellos progenies resistentes. Los valores de g_i para Eval. final y número de tubérculos, también tuvieron muy buena concordancia y no tan buena con peso de tubérculos; estos resultados confirman que el número de tubérculos por planta disminuye conforme aumenta el grado de severidad de la enfermedad y que el peso de tubérculos por planta depende del genotipo de los progenitores. Tanto en el caso de los progenitores femeninos como en los masculinos, se encontró alta discordancia entre el signo y magnitud de los valores de g_i para Evaluación final y los valores de g_i para las variables indicadoras de resistencia. De aquí se infiere que el porcentaje de daño foliar en la Evaluación final no es un indicador confiable del grado de resistencia de los materiales genéticos.

Aptitud combinatoria específica. Al igual que en el comportamiento promedio de las cruzas en relación con las variables indicadoras de resistencia, los valores de s_{ij} (Cuadro 8) más favorables para una variable no lo fueron para las otras; es decir, que una craza que exhibió valores favorables de s_{ij} para tiempo de aparición de síntomas, no lo hizo para ABCPE y bi. Nuevamente, esto se debe a que pueden resultar diferentes combinaciones entre los niveles de expresión de cada una de las variables indicadoras de resistencia de campo. Así, las cruzas 24 y 30 presentaron los valores positivos más altos de s_{ij} para tiempo de aparición de síntomas, pero no

presentaron los valores negativos numéricamente más altos para ABCPE y bi; en cambio, la craza 9 también presentó un valor más alto de s_{ij} para tiempo de aparición de síntomas y valores negativos numéricamente más altos de ACE para ABCPE y bi, lo que indica que esta craza presenta alta heterosis para resistencia a *P. infestans*. Por otro lado, la craza 10 tuvo los efectos negativos numéricamente más altos para tiempo de aparición de síntomas y los efectos positivos numéricamente más altos para ABCPE, bi y Eval. final, lo que indica que sus progenitores exhibieron heterosis negativa para resistencia a *P. infestans*, o bien heterosis positiva para susceptibilidad.

Varianzas. Los valores de los componentes de varianza genética de las variables indicadoras de resistencia y Eval. final (Cuadro 9) indican que la selección para resistencia a *P. infestans*, basándose en tiempo de aparición de síntomas, es más eficiente que la selección basada en ABCPE y Eval. final. Esta aseveración es en cierto modo, confirmada por el hecho de que el valor de h^2 para tiempo de aparición de síntomas resultó mayor que el de Evaluación final. En relación con las variables componentes del rendimiento se observa (Cuadro 9) que la $s^2 D$ es el doble de la $s^2 A$ para peso de tub/pta, mientras que son sensiblemente iguales para número de tub/pta. De aquí se infiere que una vía más eficiente para aumentar rendimiento de tubérculos es la selección basada en el número de tub/pta, además de que la correlación entre peso y número de tub/pta resultó positiva y altamente significativa.

LITERATURA CITADA

- Berger, R.D., and Jones, J.W. 1985. A general model for disease progress with functions for variable latency and lesion expansion on growing host plants. *Phytopathology* 75(7):792-795.
- Colon, L.T., and Budding, D.J. 1988. Resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in ten wild *Solanum* species. *Euphytica* 5:77-86.
- Comstock, R.E., and Robinson, H.F. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4:254-266.
- Hallauer, A.G., and Miranda, J.B. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press Ames, Iowa.
- Henfling, J.W. 1987. El tizón tardío de la papa: *Phytophthora infestans*. II Ed. Boletín de Información Técnica No. 4. CIP. Lima-Perú.
- Hooker, W.J. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Traducido del inglés por Icochea, T.A. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú.
- Ingram, D.S., and Williams, P.H. 1991. *Phytophthora infestans*, the cause of late blight of potato. Academic Press. New York.
- Levings, C.S., and Dudley, J.W. 1963. Evaluation of certain mating designs for estimating genetic variance in autotetraploid alfalfa. *Crop Science* 3:532-535.
- Malcolmson, J.F., and Killick, R.J. 1980. The breeding values

- of potato parents for field resistance to late blight measured by whole seedlings. *Euphytica* 29:489-495.
- Niederhauser, J.S. 1989. El Tizón tardío de la papa. México, el lugar de origen y la selección. Conf. Magistral. En: Memorias, III Congr. Nac. de Papa. Toluca-México.
- Niederhauser, J.S., Cervantes, J. and Servin, L. 1954. Late blight in Mexico and its implications. *Phytopathology* 44:406-408.
- Pandey, H.N., Menon, T.C.M. and Rao, M.V. 1989. A simple formula for calculating area under disease progress curve. *Rachis* 8(2):38-39.
- Rivera-Peña, A. 1988. A wild tuber-bearing species of *Solanum* and incidence of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary on the Western slopes of the Nevado de Toluca volcano. V. Type of resistance to *P. infestans* of wild species of *Solanum*. Dissertation, Swedish Univ. Agric. Sci. Upsala, Sweden.
- Rowe, P.R. 1969. Quantitative variation in diploid potatoes. *American Potato Journal* 46(1):14-17.
- Shaner, G., and Hess, F.D. 1978. Equations for integrating components of slow leaf-rusting resistance in wheat. *Phytopathology* 68:1464-1469.
- Thompson, P.G., and Mendoza, H.A. 1984. Genetic variance estimates in a heterogeneous potato population propagated from true seed (TPS). *American Potato Journal* 11:697-702.
- Zuñiga, L.N. 1989. Determinación de componentes de variancia genética en una población avanzada de papas autotetraploides. Tesis Magister Scientiae. UNA-La Molina. Lima-Perú.