

VARIABILIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE DIEZ VARIEDADES DE PAPA EN TRES LOCALIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO

D. J. Pérez-López¹; L. M. Vázquez-García¹;
J. Sahagún-Castellanos²; A. Rivera-Peña³

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.
Apartado Postal 435, Toluca, Estado de México. Tel. y Fax: 01 (722) 29 6 55 18. MÉXICO.
Correo-e: djpl@uaemex.mx (¹Autor responsable).

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México.
C. P. 56230. MÉXICO.

³Programa de Mejoramiento Genético de la Papa. CAE-Toluca-CIRCE-
INIFAP-SAGARPA. Metepec, Estado de México.
C. P. 51350. MÉXICO.

RESUMEN

Se evaluaron 10 variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en tres localidades del Estado de México en el verano del 2004 y 2005. Se estimaron los componentes de varianza y la heredabilidad de siete caracteres cuantitativos. Las variedades también se describieron a partir de 21 caracteres cualitativos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones por ambiente. El análisis estadístico de la serie de experimentos se basó en un modelo de efectos aleatorios para los siete caracteres cuantitativos. Los caracteres cualitativos se describieron de acuerdo con la Guía Técnica para la Descripción Varietal de la Papa, del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Los resultados mostraron significancia estadística ($P \leq 0.01$) para localidades, genotipos e interacción genotipo x ambiente para cada caracter evaluado. La heredabilidad en sentido amplio fue superior al 61.6 % en Raíces, Metepec y San Francisco Oxtotilpan. El mayor peso de tubérculo se registró en la variedad identificada como 750660 (27.8 t·ha⁻¹), que superó estadísticamente a la variedad Alpha (testigo). La altura de la planta y el número de tallos por planta se correlacionaron negativamente ($P \leq 0.01$) con el peso de tubérculo (PTHA), pero el resto de las variables evaluadas contribuyeron a un aumento significativo del PTHA ($P \leq 0.01$). Con relación a la estructura del follaje, la variedad identificada como 777091 fue la mejor en Raíces y Metepec, pero 776943 sobresalió en San Francisco.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum tuberosum*, minitubérculo, interacción genotipo x ambiente, heredabilidad, correlación fenotípica, descripción varietal.

VARIABILITY AND CHARACTERIZATION OF TEN POTATO VARIETIES IN THREE LOCATIONS OF THE STATE OF MEXICO

ABSTRACT

Ten potato (*Solanum tuberosum*) varieties were evaluated at three locations in the State of Mexico in the summers of 2004 and 2005. We estimated variance components and heritability of seven quantitative characters. Varieties were also described from 21 qualitative characters. The experimental design was a randomized complete block with four replications by environment. Statistical analysis of the experiment series was based on a random effects model for each of the seven quantitative characters. Qualitative characters were described according to the Technical Guide for Description of Potato Varieties from the National Service of Seed Inspection and Certification (SNICS). Results showed statistical significance ($P \leq 0.01$) for locations, genotypes, and genotype x environment interaction for each evaluated character. Broad sense heritability was higher than 61.6 % at Raíces, Metepec and San Francisco Oxtotilpan. Highest tuber weight was recorded for variety 740660 (27.8 t·ha⁻¹), which was statistically superior to the control variety Alpha. Plant height and number of stems per plant were

negatively correlated ($P \leq 0.01$) with tuber weight (PTHA), but the remaining evaluated variables contributed to a significant increase in PTHA ($P \leq 0.01$). In terms of foliage structure, variety 777091 was the best at Raíces and Metepec, but 776943 was outstanding at San Francisco.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Solanum tuberosum*, mini-tuber, genotype x environment interaction, heritability, phenotypic correlation, variety description.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria del Sur de América (Perú, Chile, Bolivia y Ecuador) y está adaptada a una amplia variabilidad de ambientes; se siembra desde el trópico hasta las zonas templadas, en altitudes que van desde 0 hasta 4,000 m (Milton y Allen, 1995). La mayor producción se encuentra en las regiones templadas, donde la longitud del día no excede las catorce horas. Es importante entonces contar con cultivares mejorados que resistan la sequía, el calor, el frío y, presenten capacidad para tuberizar en días largos, además de presentar resistencia o tolerancia a enfermedades e insectos (Bonierbale *et al.*, 2004). El mejoramiento genético en papa se ha enfocado al potencial y a la estabilidad del rendimiento. El potencial del rendimiento se entiende como un proceso fisiológico complejo determinado por el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo x ambiente (Milton y Allen, 1995). La estabilidad se refiere a la capacidad que tiene la planta para expresar su potencial de rendimiento en una amplia gama de ambientes (Becker y León, 1988). El agricultor demanda variedades estables, especialmente en áreas donde las condiciones climáticas son altamente impredecibles (Ceccarelli, 1994). Un estudio sobre la interacción genotipo x ambiente para rendimiento comercial en papa mostró que todos los genotipos tuvieron una respuesta diferencial a los efectos ambientales (De Jong *et al.*, 1981). Estevez *et al.* (1984), encontraron diferencias altamente significativas entre años, entre genotipos y en la interacción genotipo x año en el número de tallos, en la altura de la planta, en el número y rendimiento de tubérculo (Javier, 1995). Victorio *et al.* (1986), al evaluar en dos ambientes ubicados a 230 y 3,278 m (en la Costa y en la Sierra) observaron que todos los genotipos mostraron diferencias altamente significativas en el peso seco y fresco de los tubérculos y en el tamaño de la planta; estos caracteres expresaron un comportamiento superior a mayor altitud.

Se presume que es posible detectar genotipos de papa con adaptación a ambientes heterogéneos y de mayor estabilidad aún en ambientes marginales (Bonierbale *et al.*, 2004) debido a la considerable variabilidad genética existente. En las Sierras y Valles Altos de México existen problemas serios de abastecimiento de semilla de papa de buena calidad. La identificación de variedades provenientes de minitubérculo de alto rendimiento podría ser una alternativa de solución para los agricultores de esta región. Con base en lo anterior se realizó un estudio con 10 variedades de papa en tres localidades del Estado de México con el objetivo de estimar los componentes de varianza y la heredabilidad

en siete caracteres cuantitativos y caracterizar a las variedades a partir de 21 caracteres cualitativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental

La evaluación del material genético se realizó en condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano del 2004 en las localidades de Raíces (R), municipio de Zinacantepec y Metepec (M), Estado de México. En el 2005 se estableció otro experimento en condiciones de riego en San Francisco Oxtotilpan (SF), municipio de Temascaltepec de González, Estado de México. Raíces se ubica a 19° 09' 726" de latitud norte y 99 48' 180" de longitud oeste, a una altitud de 3,550 m; su temperatura media anual es de 5 a 12 °C y la precipitación media anual es de 800 mm; el tipo de suelo predominante es el franco-arenoso, con pH entre 4.5 y 5.5. Metepec se localiza a 19° 14' 866" de latitud norte y a 99° 35' 240" de longitud oeste, a una altitud de 2,606 m; su temperatura y precipitación media anual son 13 °C y 785 mm, respectivamente, y sus suelos son profundos, fértiles y ricos en materia orgánica. San Francisco Oxtotilpan se sitúa a 19° 09' 609" de latitud norte y a 95° 54' 468" de longitud oeste, a una altitud de 2,613 m, el clima predominante es el templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual que oscila entre 18 y 22 °C, una precipitación comprendida entre 800 y 1,600 mm anuales, suelos de textura arcillo arenosa y con un pH de 5.5 (Borboa, 1999).

Material genético

En este trabajo se consideraron 10 variedades de papa provenientes de minitubérculo: 777091, 7718335, 750660, 779040, Zafiro, 676002, 776943, Alpha, Atlantic y Gigant. Las primeras siete variedades fueron proporcionadas por el Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y las tres últimas fueron donadas por el área de multiplicación acelerada de papa del rancho la providencia. Alpha fue considerada como testigo; esta variedad es utilizada por la mayoría de los productores del Estado de México, tiene un potencial de rendimiento hasta de 40 t·ha⁻¹ y mucha aceptación en el mercado para consumo en fresco.

Tamaño de parcela y diseño experimental

Los ensayos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en cada ambiente.

El análisis de los datos de todos los ambientes se efectuó como una serie de experimentos. La parcela experimental constó de tres surcos de 0.90 m de ancho por 1.8 m de largo, pero sólo el surco central se consideró como unidad experimental útil. En cada surco se depositaron 10 minitubérculos separados a 0.20 m.

Manejo agronómico de los experimentos

La preparación del suelo en Raíces (R) y San Francisco (SF) fue manual y en Metepec (M) fue mecánica. La siembra se realizó el 29 de abril y el 15 de junio de 2004 (R y M) y el 29 de enero de 2005 (SF). La fertilización inorgánica se hizo con el tratamiento 180N-200P-150K. En R y M se adicionaron 50 kg de estiércol de borrego y en SF se agregaron 50 kg de gallinaza; en R al inicio de madurez se aplicó triple 18 + zinc, en M se aplicó nitrato de calcio + KCl y en SF sólo se adicionó nitrato chileno. El control de maleza en R y SF fue manual, mientras que en M se aplicó en postemergencia Metribuzin, en dosis de 480 g·litro⁻¹. Los aporques se efectuaron el 12 de junio, el 5 de agosto del 2004 (R), el 17 de agosto de 2004 (M) y el 4 de abril de 2005 (SF). El follaje fue cortado manualmente en R y M (8 de septiembre y 20 de octubre de 2004) y químicamente en SF (4 de junio de 2005).

Caracteres estudiados

Para medir los caracteres cuantitativos registrados en cada experimento se tomaron 10 plantas con competencia completa en la parcela útil. La altura de la planta (ALPA, cm) se midió con una regla desde la base del tallo principal al ápice; el número de tallos por planta (NTAP) se registró su promedio aritmético; también se cuantificó el número promedio de tubérculos por planta (NUTP); para el peso de tubérculo por planta (PTUP, g) se determinó con una báscula digital; el diámetro de tubérculo (DITU, cm) se midió con un vernier considerando la parte central del tubérculo; la longitud del tubérculo (LONT, cm) se midió con una regla. Se registró la producción total de tubérculos de la parcela experimental y con estos datos se estimó el rendimiento de tubérculo en toneladas por hectárea (PTHA). Las variables cualitativas se describieron con base en la Guía Técnica de la Descripción Varietal de Papa del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2000).

Análisis estadístico

Para cada carácter cuantitativo (CC) se hizo un análisis de varianza combinado (ANOVA) y una comparación de medias de variedades usando la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.05$); para los siete CC se hizo un análisis de correlación fenotípica. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico Agrobases 21, considerando a los ambientes (A), a las variedades (G) y a la interacción variedades x ambientes (IGA) como factores aleatorios. Debido a que en el presente estudio se consideró una especie tetraploide (autógama) que al propagarla

vegetativa o asexualmente genera progenies genéticamente idénticas (clones) a la variedad de la cual fue derivada (Estrada, 2000), la varianza entre variedades fue considerada como un estimador de la varianza genética total (σ^2_G), por los que se asumió que la varianza genética dentro de clones fue igual a cero. Así con base en las esperanzas de los cuadrados medios del ANOVA, se estimó la heredabilidad (H^2) en sentido amplio de los caracteres cualitativos en términos de la media clonal como:

$$H^2 = 100 \sigma^2_G / [\sigma^2_G + (\sigma^2_{GA} / a) + (\sigma^2_E / ra)]$$

Donde: σ^2_{GA} y σ^2_E son estimaciones de las varianzas de la IGA y del error experimental combinado; a y r son el número de ambientes y repeticiones por ambiente, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Los cuadrados medios de ambientes (A), variedades (G) e IGA fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$) en los siete caracteres cuantitativos (Cuadro 1). Estos resultados son similares a los de Estevez *et al.* (1984) y Javier (1995), quienes encontraron que los años, los genotipos y la interacción genotipo x año fueron significativos para el número de tallos, altura de la planta, número y rendimiento de tubérculos. Los resultados anteriores indicaron que los efectos de los tres ambientes no fueron homogéneos, que existió variabilidad genética y que las variedades no fueron consistentes en su comportamiento a través de los ambientes (De Jong *et al.*, 1981).

Medias y coeficiente de variación

Con relación a los ambientes (Cuadro 2), la mayor altura y el mayor número de tallos por planta registrado en San Francisco no se reflejó en un mayor rendimiento de tubérculo en las 10 variedades (14.50 t·ha⁻¹). Alonso (2002), argumentó que cuando existen más horas luz las plantas no tuberizan y la vegetación es abundante, lo que contribuye a un bajo rendimiento. En Raíces, la mejor expresión fenotípica observada en diámetro, longitud y peso de tubérculo por planta sí contribuyó a elevar la producción (25.76 t·ha⁻¹), que fue mayor que el promedio nacional de 20 t·ha⁻¹. La papa es un cultivo de clima frío, esto explica los altos rendimientos que se obtuvieron en Raíces, localidad situada a 3,550 m. Estos resultados concuerdan por lo reportado por Victorio *et al.* (1986). Los coeficientes de variación se encontraron en los intervalos de 8.85 a 22.52 % en Raíces, de 8.76 a 32.13 % en Metepec y de 9.11 a 43.02 % en San Francisco. La ausencia de precipitación y los riegos por gravedad que se proporcionaron al experimento en San Francisco contribuyeron posiblemente a la mayor heterogeneidad ambiental que se reflejó en los coeficientes de variación. En Raíces, Alpha produjo el mayor rendimiento (36.05 t·ha⁻¹), pero su media fue estadísticamente igual que la de 779040,

CUADRO 1. Cuadrados medios, media aritmética (X) y coeficiente de variación (CV) para siete caracteres cuantitativos medidos en 10 variedades de papa. Análisis combinado de tres localidades del estado de México.

Carácter	A	R(A)	G	G x A	E	X	C V (%)
ALPA	6078.73**	26.40	36.45**	12.22**	18.48	31.07	13.83
NTAP	62.79**	0.68**	3.10**	1.15**	0.21	2.41	19.12
NUTP	202.32**	9.21*	94.49**	30.53**	4.41	9.07	23.16
PTUP	236,231.84**	26,985.91 ^{NS}	68,368.76**	4,7247.40**	12,421.00	357.65	31.16
DITU	4.07**	0.24 ^{NS}	0.93**	0.90**	0.15	4.35	8.93
LONT	3.12**	0.42 ^{NS}	1.22**	1.38**	0.29	5.25	10.21
PTHA	1,309.60**	40.02 ^{NS}	239.76**	134.86**	23.95	19.53	25.05

^{NS}, *, ** : no significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

A: ambiente; R(A): repeticiones dentro de ambientes; G: variedades; G x A: variedades x ambiente; ALPA: altura de planta (cm); NTAP: número de tallos por planta; NUTP: número de tubérculos por planta; PTUP: peso de tubérculo por planta (g); DITU: diámetro de tubérculo (cm); LONT: longitud de tubérculo (cm); PTHA: rendimiento de tubérculo (t-ha⁻¹).

CUADRO 2. Media aritmética (X), coeficiente de variación (CV) y heredabilidad (H²) de los siete caracteres cuantitativos calculados en papa en cada uno de los ambientes considerados en 2004 y 2005.

Carácter	X			CV (%)			H ² (%)		
	R	M	SF	R	M	SF	R	M	SF
ALPA	21.24 c ^z	27.09 b	44.91 a	15.25	13.63	12.46	93.3	94.1	95.8
NTAP	1.85 b	1.55 c	3.85 a	22.52	23.18	15.12	83.7	78.0	91.0
NUTP	7.98 b	11.66 a	7.58 b	20.57	19.80	30.15	91.2	92.8	89.7
PTUP	431.47 a	363.38 b	278.10 c	22.37	32.13	43.02	80.5	77.4	77.4
DITU	4.56 a	3.99 b	4.52 a	8.85	8.76	9.11	71.6	83.3	88.2
LONT	5.52 a	4.96 c	5.28 b	10.87	10.16	9.45	61.6	78.8	83.3
PTHA	25.76 a	18.36 b	14.50 c	20.16	28.47	28.94	86.0	79.3	90.5

^zValores con la misma letra en la misma hilera son iguales de acuerdo con la prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

R: Raíces; M: Metepec; SF: San Francisco; ALPA: altura de planta (cm); NTAP: número de tallos por planta; NUTP: número de tubérculos por planta; PTUP: peso de tubérculo por planta (g); DITU: diámetro de tubérculo (cm); LONT: longitud de tubérculo (cm); PTHA: rendimiento de tubérculo (t-ha⁻¹).

777091 y 776943 (32.07, 29.61 y 29.47 t-ha⁻¹); esta respuesta estuvo correlacionada con una mayor producción de tallos y con una mayor altura de planta. En Metepec, el rendimiento de las variedades identificadas como 676002, 776943, Zafiro y 750660 (20.06, 20.65, 23.91 y 30.11 t-ha⁻¹) fue estadísticamente mayor que el de Alpha (11.66 t-ha⁻¹). En San Francisco, la media del clon 750660 (27.01 t-ha⁻¹) también superó estadísticamente a la del testigo (17.76 t-ha⁻¹). Al promediar los rendimientos de las tres localidades (Cuadro 3) se observó que el genotipo 750660 (27.84 t-ha⁻¹) fue el más sobresaliente y superó estadísticamente a la variedad Alpha (21.83 t-ha⁻¹); las variedades inferiores estadísticamente al testigo fueron 7718335, Atlantic y Zafiro (12.13, 14.09 y 17.37 t-ha⁻¹). Bornierbale *et al.* (2004) y Ceccarelli (1994), sugirieron el desarrollo de genotipos que puedan mostrar adaptación a ambientes heterogéneos y mayor estabilidad en ambientes marginales para reducir la cantidad de insumos usados en el proceso productivo. Las diferencias en altitud, precipitación, temperatura y tipo de suelo que predominan entre ambientes explican también las diferencias que se observan en los Cuadros 1, 2 y 4, relativo a los efectos ambientales relacionados con el error experimental y los coeficientes de variación.

Componentes de varianza (CV) y heredabilidad (H²)

Los CV se evalúan en términos de respuesta a la selección, pero el empleo del método de momentos, calculado con funciones lineales de estos componentes permite calcular variabilidad genética con H² (Holland *et al.*, 2003). En cada localidad y para la mayoría de los caracteres cuantitativos H² varió de 61.6 a 95.8 % (Cuadro 2). Thompson *et al.* (1983), estimaron valores de H² entre 61 y 64 % para el número, tamaño y rendimiento de tubérculo, mientras que Javier *et al.* (1974) observaron valores de H² entre 92.9 y 95.5 % para número de tallos, número y peso de tubérculos.

En el análisis combinado se observó que en general la varianza de la IGA fue mayor que la varianza genética o del error, por lo que los valores de H² variaron entre 3.7 y 67.7 % (Cuadro 4). Estos resultados indican que existen diferencias entre variedades y que éstas tuvieron comportamiento diferente a través de los ambientes de evaluación, por lo que la varianza de la IGA reduciría la respuesta a la selección, especialmente en PTHA, LONT, DITU y PTUP, que fueron las características con menor variabilidad genética y más susceptibles a la heterogeneidad entre ambientes. Estrada (2000), mencionó que en altura de planta, número de

CUADRO 3. Media aritmética de siete caracteres para cada variedad de papa evaluada en tres localidades en 2004 y 2005.

Variedad	ALPA (cm)	NTAP	NUTP	PTUP (g)	DITU (cm)	LONT (cm)	PTHA (t·ha ⁻¹)
777091	33.70	2.65	11.43*	306.14*	4.05*	5.17	18.14
7718335	20.35 ^{xz}	1.68*	4.57*	237.91*	3.99*	5.66	12.13*
750660	24.55*	2.73	13.85*	478.48	4.45	5.12	27.84*
779040	39.38	2.39	9.97	389.73	4.47	4.48*	20.90
Alpha ^y	36.82	2.45	8.93	413.47	4.50	5.49	21.83
Atlantic	25.00*	1.88	5.49*	239.92*	4.13*	5.07	14.09*
Gigant	23.83*	1.96	8.44	364.01	4.87*	5.87	22.96
Zafiro	29.78*	2.13	7.40	390.34	4.63	5.22	17.37*
676002	34.70	3.10	11.38*	393.63	4.17*	5.13	20.44
776943	46.68*	3.18	9.25	362.88	4.32	4.95*	19.67
DMS	3.49	0.37	1.70	90.53	0.31	0.43	3.97

^yTestigo.

^zDentro de columnas, genotipos que difieren del testigo de acuerdo a la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.05$).

ALPA: altura de planta; NTAP: número de tallos por planta; NUTP: número de tubérculos por planta; PTUP: peso de tubérculo por planta; DITU: diámetro de tubérculo; LONT: longitud de tubérculo; PTHA: rendimiento de tubérculo.

tubérculos y rendimiento los valores de H^2 fueron inferiores al 50 %. Estos resultados sugieren que el rendimiento y los componentes del rendimiento podrían mejorarse por selección directa o indirecta, pero que la interacción G x A causaría confusión en la estimación de CV y H^2 , así como la identificación de variedades superiores.

Correlaciones fenotípicas

El rendimiento de tubérculo por hectárea (PTHA) se correlacionó positiva y significativamente ($P \leq 0.01$) con el número, el peso, el diámetro y la longitud del tubérculo (valores de r de 0.40, 0.85, 0.38 y 0.27, respectivamente; Cuadro 5). Estos resultados están asociados a la forma en que el fitomejorador elige nuevas variedades, debido a que

CUADRO 5. Coeficientes de correlación fenotípica entre siete caracteres de 10 variedades de papa evaluadas en 2004 y 2005. Análisis conjunto de tres localidades del Estado de México.

Carácter	NTAP	NUTP	PTUP	DITU	LONT	PTHA
ALPA	0.77*	-0.03	-0.16	0.12	-0.09	-0.30**
NTAP		0.01	-0.15	0.19*	0.00	-0.20*
NUTP			0.44**	-0.27**	0.31**	0.40**
PTUP				0.41**	0.30**	0.85**
DITU					0.79**	0.38**
LONT						0.27**

*, **: Significativo a una $P \leq 0.05$ o 0.01, respectivamente.

ALPA: altura de planta (cm); NTAP: número de tallos por planta; NUTP: número de tubérculos por planta; PTUP: peso de tubérculo por planta(g); DITU: diámetro de tubérculo (cm); LONT: longitud de tubérculo (cm); PTHA: rendimiento (t·ha⁻¹).

CUADRO 4. Componentes de varianza y heredabilidad (H^2) en sentido amplio de siete caracteres evaluados en 10 variedades de papa en el 2004 y 2005. Análisis combinado de las tres localidades del Estado de México.

Carácter	Combinado			H^2 (%)
	σ^2_G	σ^2_{GA}	σ^2_E	
ALPA	37.313	51.847	18.481	66.47
NTAP	0.163	0.233	0.214	63.00
NUTP	5.330	6.529	4.413	67.69
PTUP	1,843.448	8,706.510	12,421.340	31.88
DITU	0.002	0.187	0.151	3.73
LONT	-0.013	0.274	0.288	-13.13
PTHA	8.741	27.729	23.949	43.75

σ^2_G : varianza entre variedades; σ^2_{GA} : varianza de la interacción GxA; σ^2_E : varianza del error; ALPA: altura de planta; NTAP: número de tallos por planta; NUTP: número de tubérculos por planta; PTUP: peso de tubérculo por planta; DITU: diámetro de tubérculo; LONT: longitud de tubérculo; PTHA: rendimiento de tubérculo (t·ha⁻¹).

lo hace considerando directamente estos caracteres, que a su vez, son componentes primarios de la forma, del tamaño y de la producción de tubérculos. El PTHA también se asoció negativa y significativamente ($P \leq 0.01$) con altura de planta ($r = -0.306$) y número de tallos por planta ($r = -0.205$). Estrada (2000) encontró una correlación positiva y significativa entre el número de tallos y el número de tubérculos por planta, resultados que contrastan con los obtenidos en este estudio. Debido a que el rendimiento de tubérculo es un carácter poligénico que está asociado con otros caracteres de la planta y del tubérculo, fenómeno conocido también como pleiotropía, la selección indirecta practicada en estas variables contribuiría a un mayor rendimiento y mejor calidad del tubérculo (Rousselle *et al.*, 1999). Estos resultados mostraron que el rendimiento de tubérculo de las 10 variedades se incrementó en respuesta a una expresión favorable de sus componentes del rendimiento y en función de las diferencias genéticas,

ambientales y de la interacción genotipo x ambiente (Milton y Allen, 1995).

Caracteres cualitativos

La identificación de variabilidad entre y dentro de poblaciones permite seleccionar variedades con características agronómicas deseables y, de manera parcial, aumentar la producción y la calidad del tubérculo. En el presente trabajo se detectaron diferencias fenotípicas en cada localidad en tipo de planta, hábito de crecimiento, grosor del tallo, presencia de antocianinas, tamaño, perfil e intensidad del color verde de la hoja, tamaño y ancho de la hoja compuesta, así como en la frecuencia de coalescencia, ondulación del margen, profundidad de venas y brillo del haz (Cuadros 6 y 7). La coloración del tallo y de las hojas se debe a la presencia de antocianinas, la cual estuvo ausente en las 10 variedades. La arquitectura de la planta

se definió por hojas compuestas que variaron en el número, tamaño y ancho, dependiendo de la variedad. La cantidad de flores, el color de la flor, el color secundario, el tamaño de la corola también difirieron entre variedades y entre localidades (Cuadro 8). Las particularidades de las variedades en términos del color de la cutícula y de la pulpa, forma del tubérculo y tipo de yemas se presentan en el Cuadro 7; estos caracteres cualitativos son de herencia simple (De Jong y Burns, 1993), por lo que pueden usarse confiablemente para caracterizar variedades, debido a que al ser de herencia simple el efecto ambiental asociado a las localidades y a la interacción genotipo x ambiente es pequeño. Estas características y el rendimiento son importantes para seleccionar genotipos en la primera generación (Neele *et al.*, 1991). Con relación a la estructura del follaje, 777091 fue la mejor variedad en Raíces y Metepec, pero en San Francisco sobresalió 776943.

CUADRO 6. Caracterización morfológica del follaje de 10 variedades de papa evaluadas en 2004 y 2005 en tres localidades del Estado de México.

Variedad	Carácter						
	PT	PHC	GT	PAT	TH	PH	ICVF
777091	Intermedio	Semi erecta	Grueso	Ausente	Mediana	Media	Obscuro
7718335	Abierto	Erecta	Medio	Débil	Pequeña	Abierta	Medio
750660	Cerrado	Semi erecta	Medio	Ausente	Mediana	Media	Medio
779040	Abierto	Semi erecta	Grueso	Muy débil	Grande	Abierta	Medio
Alpha	Intermedio	Semi erecta	Grueso	Ausente	Grande	Abierta	Medio
Atlantic	Intermedio	Extendida	Medio	Ausente	Grande	Media	Claro
Gigant	Intermedio	Extendida	Medio	Intermedia	Grande	Abierta	Claro
Zafiro	Intermedio	Semi erecta	Grueso	Ausente	Mediana	Media	Obscuro
676002	Intermedio	Semi erecta	Grueso	Intermedio	Mediana	Abierta	Claro
776943	Abierto	Erecta	Grueso	Débil	Mediana	Abierta	Medio

PT: tipo de planta; PHC: hábito de crecimiento de la planta; GT: grosor del tallo principal; PAT: presencia de antocianinas en el tallo; TH: tamaño de la hoja; PH: perfil de la hoja; ICVF: intensidad del color verde del follaje.

CUADRO 7. Caracterización morfológica del follaje y de tubérculo de 10 variedades de papa evaluadas en el 2004 y 2005 en tres localidades del Estado de México.

Variedad	Follaje						Tubérculo			
	THC	AHC	FC	OM	PV	BH	FT	CC	CP	PY
777091	Medianas	Ancha	Baja	Débil	Profunda	Brillante	Oval – corta	Amarilla	Amarilla	Media
7718335	Pequeñas	Angosta	Baja	Intermedio	Mediana	Opaco	Oval	Blanca	Amarilla	Media
750660	Pequeñas	Mediana	Baja	Intermedio	Mediana	Medio	Oval – corta	Amarilla	Amarilla	Media
779040	Grandes	Angosta	Baja	Fuerte	Profunda	Medio	Redonda	Amarilla	Amarilla	Media
Alpha	Grandes	Angosta	Baja	Intermedio	Profunda	Medio	Oval – corta	Blanca	Amarilla	Superficial
Atlantic	Grandes	Ancha	Baja	Débil	Profunda	Medio	Oval – corta	Blanca	Blanca	Superficial
Gigant	Grandes	Ancha	Baja	Débil	Mediana	Medio	Oval – corta	Amarilla	Blanca	Media
Zafiro	Medianas	Mediana	Baja	Intermedio	Profunda	Medio	Redonda	Roja	Amarilla	Profunda
676002	Medianas	Angosta	Baja	Intermedio	Profunda	Medio	Oval - corta	Amarilla	Amarilla	Media
776943	Medianas	Mediana	Baja	Débil	Profunda	Medio	Redonda	Amarilla	Amarilla	Profunda

TCH: tamaño de la hoja compuesta; AHC: ancho de la hoja compuesta; FC: frecuencia de coalescencia; OM: ondulación del margen; PV: profundidad de venas; BH: brillo del haz; FT: forma de tubérculo; CC: color de la cutícula; CP: color de la pulpa; PY: profundidad de yemas.

CUADRO 8. Caracterización de la flor en 10 variedades de papa evaluadas en Raíces (R), Metepec (M) y San Francisco (SF), Estado de México.

Variedad Genotipo	Presencia de flores			Color de la flor			Color secundario			Tamaño corola		
	R	M	F	R	M	F	R	M	F	R	F	M
777091	med	alt	alt	bco	bco	bco	bcor	bcora	bcora	med	med	med
7718335	med	alt	ba	pur	li	li	bcor	bcora	bcora	gran	gran	gran
750660	mub	alt	alt	bco	bco	bco	bcor	bcora	bcora	peq	peq	peq
779040	mub	alt	alt	ros	ros	ros	bcor	bcora	bcora	peq	peq	peq
Alpha	aus	alt	ba	-	ros	ros	-	bcora	bcora	-	med	med
Atlantic	aus	med	aus	-	li	-	-	bcora	-	-	med	-
Gigant	aus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zafiro	aus	ba	ba	-	pur	li	-	bcora	bcora	-	med	med
676002	ba	me	me	li	li	li	bcora	bcora	bcora	med	med	med
776943	ba	alt	malt	li	li	li	li	li	li	med	med	med

ba: baja; med: media; alt: alta; mub: muy baja; aus: ausente; malt: muy alta; bco: blanco; pur: púrpura; ros: rosado; li: lila; bcora: banco rayado; gran: grande; med: mediana; peq: pequeña.

CONCLUSIONES

Las tres localidades representaron ambientes heterogéneos para el estudio de las 10 variedades, pero en Raíces se registraron los mayores rendimientos de tubérculo.

Las estimaciones de heredabilidad, superiores al 61 % en las tres localidades, indican que existe amplia variabilidad genética entre variedades.

El incremento en la altura de la planta o en el número de tallos por planta causó un decremento significativo en el peso de tubérculo por hectárea (PTHA); el número, diámetro y longitud de tubérculo contribuyeron a un aumento significativo en el PTHA.

La variedad 750660 superó en 6.1 t·ha⁻¹ a Alpha (testigo) y el 50 % de las variedades mostraron un rendimiento superior al promedio nacional; estos resultados sugieren que en el área de estudio es posible utilizar minitubérculo en siembra comercial.

LITERATURA CITADA

- ALONSO, A. F. 2002. El Cultivo de la Patata. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 495 p.
- BECKER, H. C.; LEÓN, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding Review* 101: 1-23.
- BONIERBALE, M.; AMOROS, W.; ESPINOZA, J.; MIHOVILOVICH, E.; ROCA, W.; GÓMEZ, R. 2004. Recursos genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. *Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa* 1: 3-13.
- BORBOA, R. A. 1999. Monografía Municipal de Temascaltepec. Instituto Mexiquense de Cultura. Gobierno del Estado de México, Toluca, México. 239 p.
- CECCARELLI, S. 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77: 205-209.
- DE JONG, H.; BURNS, V. J. 1993. Inheritance of tuber shape in cultivated diploid Potatoes: a critical review. *American Potato Journal* 68: 585-593.
- DE JONG, H.; TAI, G. C. C.; RUSSELL W. A.; JOHNSTON, G. R.; PROUDFOOD K. G. 1981. Yield potential and genotype-environment interactions of tetraploid-diploid (4x-2x) potato hybrids. *American Potato Journal* 58: 191-199.
- ESTÉVEZ, V. A.; GONZÁLEZ, E. M.; CASTILLO, J.; MORÉ, O.; ORTIZ, U. 1984. Estudio de la Interacción genotipo ambiente y métodos de estabilidad en experimentos de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales* 6: 667-680.
- ESTRADA, R. N. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la Papa CIP-PROINCA COSUDE-CID. La Paz, Bolivia. 372 p.
- JAVIER, T. G.; MOLINA, G. J.; CASAS, D. E. 1974. Correlaciones genéticas e índices de selección en la genotecnia de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agrociencia* 16: 21-37.
- JAVIER, T., G. 1995. Clones obtenidos de cruces dialélicos y de polinización libre de papas nativas seleccionadas por estabilidad fenotípica. *Revista Latinoamericana de la Papa* 7 y 8: 61-75.
- HOLLAND, J. B.; NYQUIST, W. E.; CERVANTES M., C. T. 2003. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: An update. *Plant Breeding Reviews* 22: 9-112.
- MILTON, P. J.; ALLEN, S. D. 1995. *Breeding Field Crops*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 494p.
- NEELE, A. E. F.; NAB, H. J.; LOUWES, K. M. 1991. Identification of superior parents in a potato breeding programme. *Theoretical and Applied Genetics* 82: 264-272.
- ROUSSELLE, P.; ROBERT, Y.; CROSNIER, J. C. 1999. La Patata. Traducción: MATEO BOX, J. K. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España. 607 p.
- SERVICIO NACIONAL DE INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS. 2000. Guía Técnica para la Descripción Varietal en Papa (*Solanum tuberosum* L.). SAGARPA. México. 22 p.
- THOMPSON, P. G.; MENDOZA, H. A.; PLAISTED, R. L. 1983. Estimation of genetic parameters for characters related to potato propagation by true seed (TPS) in an andigena population. *American Potato Journal* 60: 394-401.
- VICTORIO, R. G.; MORENO, U.; BLACK, C. C. 1986. Growth partitioning and harvest index of tuber-bearing *Solanum* genotypes grown in two contrasting Peruvian environments. *Plant Physiology* 82: 103-108.