

## VARIABILIDAD GENÉTICA, DIVERSIDAD FENOTÍPICA E IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS SOBRESALIENTES DE PAPA\*

### GENETIC VARIABILITY, PHENOTYPIC DIVERSITY AND IDENTIFICATION OF OUTSTANDING POTATO GENOTYPES

Delfina de Jesús Pérez López<sup>1§</sup>, Andrés González Huerta<sup>1</sup>, Omar Franco Mora<sup>1</sup>, Antonio Rivera Peña<sup>3</sup>, Jaime Sahagún Castellanos<sup>2</sup>, Artemio Balbuena Melgarejo<sup>1</sup>, Martín Rubí Arriaga<sup>1</sup> y Francisco Gutiérrez Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. A. P. 435. Tel. y Fax. 01 722 2965518. Ext. 148. (agonzalezh@uaemex.mx), (ofrancom@uaemex.mx), (balmelart@yahoo.com.mx), (m\_rubi65@yahoo.com.mx), (fgutierrezr@uaemex.mx). <sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Tel. 01 595 95 21500. Ext. 6185. (jsahagun@correo.chapingo.mx). <sup>3</sup>Sitio Experimental Metepec. INIFAP. Carretera Toluca-Zitácuaro, km 4.5. Vialidad Adolfo López Mateos S/N. Zinacantepec, Estado de México. C. P. 51350. Tel. 01 722 2320089. (riveraantonio@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: djperezl@uaemex.mx.

#### RESUMEN

El estudio de variabilidad, diversidad genética e identificación de genotipos sobresalientes en papa (*Solanum tuberosum* L.), es fundamental en los programas de mejoramiento genético, generación de tecnología y producción de semilla. Nueve genotipos provenientes de minitubérculos fueron evaluados en los años 2005 a 2006, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental tuvo tres surcos (0.9\*1.8 m), pero la parcela útil fue el surco central. El número, peso, diámetro, longitud y rendimiento de tubérculo, fueron evaluadas con el análisis de varianza combinado y con la comparación de medias de la prueba de Tukey ( $p=0.01$ ); también, se estimó la variabilidad genética ( $h^2$ ), la diversidad fenotípica entre genotipos y se determinó la relación entre los genotipos con las variables, a través del análisis de componentes principales y conglomerados. Se identificó el genotipo 779040 como de mejor adaptación en ambos años y mayor rendimiento promedio (34.46 t ha<sup>-1</sup>), Gigant (33.85 t ha<sup>-1</sup>), 750660 (30.42 t ha<sup>-1</sup>) y Zafiro (27.47 t ha<sup>-1</sup>); estos cuatro genotipos fueron clasificados en el mismo grupo, a través del análisis de componentes principales y conglomerados; por tanto, se recomienda para siembra comercial y generación de tecnología en el área de estudio. La correlación positiva

#### ABSTRACT

The study of variability, genetic diversity and identification of excellent genotypes in potato (*Solanum tuberosum* L.) is fundamental in genetic improvement programs, technology generation and seed production. Nine genotypes coming from minitubers were evaluated in years 2005 to 2006, in an experimental design of complete blocks at random with four repetitions. The experimental plot had three furrows (0.9\*1.8 m), but the useful plot was the central furrow. The number, weight, diameter, length and tuber yield were evaluated with the combined analysis of variance and with the comparison of averages of Tukey test ( $p=0.01$ ); also, it was considered the genetic variability ( $h^2$ ), the phenotypical diversity between genotypes and relationship was determined between genotypes with the variables, through analysis of main components and conglomerates. The genotype 779040 was identified as of better adaptation in both years and higher average yield (34.46 t ha<sup>-1</sup>), Gigant (33.85 t ha<sup>-1</sup>), 750660 (30.42 t ha<sup>-1</sup>) and Zafiro (27.47 t ha<sup>-1</sup>); these four genotypes were classified in the same group, through analysis of main components and conglomerates; therefore, it is recommended for commercial sow and technology generation in the area of study. The positive and significant correlation between yield *versus* weight, diameter and tuber

\* Recibido: mayo de 2010  
Aceptado: diciembre de 2010

y significativa entre rendimiento contra peso, diámetro y longitud de tubérculo por planta, sugieren que los genotipos de papa considerados en el presente estudio podrían mejorarse eficientemente, por medio del rendimiento *per se* o considerando estas características del tubérculo.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum* L., análisis de componentes principales y conglomerados, heredabilidad, minitubérculo.

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es importante a nivel mundial, debido que satisface los requerimientos energéticos y nutrición a más de dos mil millones de personas en los países en desarrollo (Scout *et al.*, 2000); ocupa el cuarto lugar, después de trigo (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oriza sativa* L.) y China es el principal productor. La importancia de esta especie también está relacionada con su amplia adaptabilidad, desde el trópico hasta las zonas templadas, en altitudes de 0 hasta 4 000 m (Milton y Allen, 1995).

Por varios siglos, el hombre ha identificado y mejorado exitosamente el cultivo de la papa, basándose en el fenotipo de características morfológicas de herencia simple y fácilmente identificables. Esta estrategia también ha sido utilizada para mejorarla; aunque con menos éxito, el fenotipo de las variables cuantitativas, las cuales están fuertemente influenciadas por el ambiente, la variabilidad genética presente entre y dentro de especies afines, la heredabilidad de las características a mejorar, la eficiencia del método de mejoramiento y el manejo agronómico que se emplee, entre otros (Estrada, 2000).

En el cultivo de la papa existe gran variabilidad, diversidad genética y fenotípica; las especies tuberosas del género *Solanum* y otros grupos de especies relacionadas, se distribuyen en 21 series taxonómicas con 235 especies, de las cuales 228 son silvestres y siete son cultivables. *S. tuberosum* L. es la única especie cultivada tetraploide ( $2n=4x=48$ ) y posee dos subespecies: tuberosum y andigena (Hawkes, 1990).

En México, aún cuando no se considera centro de origen de la papa, existe gran diversidad de germoplasma, representada principalmente por genotipos de Holanda, Estados Unidos de América y por las variedades generadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,

length per plant, suggest that potato genotypes considered in this study could be improved efficiently, by means of yield itself or considering these tuber characteristics.

**Key words:** *Solanum tuberosum* L., analysis of main and conglomerate components, heritability, minituber.

## INTRODUCTION

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is important worldwide, due that satisfies energy and nutrition requirements to more than two thousand million people in countries in development (Scout *et al.*, 2000); it occupies the fourth place, after wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays* L.) and rice (*Oriza sativa* L.) and main producer is China. The importance of this species is also related with its wide adaptability, from the tropic through temperate areas, in altitudes of 0 up to 4 000 m (Milton and Allen, 1995).

For several centuries, the man has successfully identified and improved the potato cultivation, being based on the phenotype of morphological characteristics of simple and easily identifiable inheritance. This strategy has also been used to improve it; although with less success, the phenotype of the quantitative variables, which are strongly influenced by environment, genetic variability present between and inside affine species, heritability of characteristics to improve, efficiency of method of improvement and the agronomic handling that it is used, among other (Estrada, 2000).

In potato cultivation exists great variability, genetic and phenotypical diversity; the tuber species of genus *Solanum* and other groups of related species, are distributed in taxonomic 21 series with 235 species, of which 228 are wild and seven are cultivable. *S. tuberosum* L. is the only cultivated species of type tetraploid ( $2n=4x=48$ ) and it has two subspecies: tuberosum and andigena (Hawkes, 1990).

In Mexico, still when it is not considered center of origin of the potato, great germoplasma diversity exists, represented mainly by genotypes of Holland, United States of America and for varieties generated by the National Research Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). Alpha and Gigant belong to the first group and this almost represents 50% of the cultivable national surface, Atlantic belongs to the second group and this represents 38% of that surface and 8% remaining corresponds to the third group (Orona-Castro *et al.*, 2006).

Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Alpha y Gigant pertenecen al primer grupo y éste representa casi 50% de la superficie nacional cultivable, Atlantic pertenece al segundo grupo y éste representa 38% de esa superficie y 8% restante corresponde al tercer grupo (Orona-Castro *et al.*, 2006).

Los dos centros principales de diversidad y producción de papas nativas o criollas son el Nevado de Toluca y el Pico de Orizaba, situados a altitudes entre 2 900 y 3 400 m. Ambas regiones son los centros de origen de 17 cultivares de *S. tuberosum*, pero sólo seis presentan adaptabilidad en México. El gran endemismo de esos cultivares, así como la gran diversidad morfológica presentes en el Nevado de Toluca y en el Pico de Orizaba sugieren que estas regiones son los principales centros de variabilidad genética de papa en México (Orona-Castro *et al.*, 2006).

No obstante, en las sierras y en los Valles Altos del centro de México, se desconoce el grado de diversidad fenotípica, variabilidad genética y relación existente entre materiales genéticos de los tres grupos de papas previamente citados; también existen serios problemas de abastecimiento de semilla de calidad; por lo tanto, el uso de minitubérculo libre de plagas, enfermedades y con gran potencial de rendimiento podría convertirse en una alternativa importante para los agricultores (Van der Zaag, 1987).

La producción de los minitubérculos consiste en la micropropagación *in vitro* de una gran cantidad de material completamente sano; para propagarlo también se usan esquejes enraizados de brote, tallo juvenil y tallo lateral (Rubio *et al.*, 2000; Alonso, 2002).

Este sistema de propagación ha reducido los costos de producción e incrementó el rendimiento en 25% (Maldonado, 1996). Cadena *et al.* (1999) emplearon minitubérculo en Tlaxcala y Estados de México, observaron que Alpha produjo entre 20.25 y 39.88 t ha<sup>-1</sup> y Gigant rindió entre 17 y 53 t ha<sup>-1</sup>.

El objetivo principal del presente estudio fue estimar la variabilidad genética ( $h^2$ ), analizar la diversidad fenotípica y las interrelaciones entre los genotipos e identificar material sobresaliente por su rendimiento y componentes del rendimiento del tubérculo, durante dos años en San Francisco Oxtotilpan, Municipio de Temascaltepec, Estado de México, México.

The two main centers of diversity and production of native or creoles potatoes are Nevado de Toluca and Pico de Orizaba, located at altitudes between 2 900 and 3 400 m. Both regions are the centers of origin of 17 cultivars of *S. tuberosum*, but only six present adaptability in Mexico. The endemic characteristic of those cultivar, as well as the great morphological diversity present in Nevado de Toluca and Pico de Orizaba suggest that these regions are the main centers of genetic variability of potato in Mexico (Orona-Castro *et al.*, 2006).

Nevertheless, in the mountains and High Valleys of central Mexico, it is ignored the grade of phenotypical diversity, genetic variability and relationship existent between genetic materials of the three previously mentioned groups of potatoes; serious problems of quality seed supply also exist; therefore, the use of plagues and diseases free and with great potential yield minituber it could become an important alternative to farmers (Van der Zaag, 1987).

Minituber production consists on *in vitro* micropropagation of a great quantity of totally healthy material; to spread it root cuttings of sprout, juvenile stem and lateral stem are also used (Rubio *et al.*, 2000; Alonso, 2002).

This propagation system has reduced the production costs and it increased the yield in 25% (Maldonado, 1996). Cadena *et al.* (1999) used minituber in Tlaxcala and State of Mexico, they observed that Alpha produced between 20.25 and 39.88 t ha<sup>-1</sup> and Gigant yielded between 17 and 53 t ha<sup>-1</sup>.

The main objective of the present study was to estimate the genetic variability ( $h^2$ ), to analyze the phenotypical diversity and the interrelations between genotypes and to identify excellent material for its yield and yield components of tuber, during two years in San Francisco Oxtotilpan, municipality of Temascaltepec, State of Mexico, Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

### Description of area of study

San Francisco Oxtotilpan, municipality of Temascaltepec, State of Mexico, is located at 36 km of the city of Toluca, at 19° 09.609' of north latitude and 99° 54.468' of longitude west,

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

San Francisco Oxtotilpan, Municipio de Temascaltepec, Estado de México, está situado a 36 km de la ciudad de Toluca, a 19° 09.609' de latitud norte y 99° 54.468' de longitud oeste, con altitud de 2 613 m. La temperatura media anual varía de 5 a 20 °C, y la precipitación media anual de 800 a 1 600 mm; predomina el suelo franco arenoso (Borboa, 1999). San Francisco tiene 1 329 habitantes de origen matlazinca, dedicados principalmente a la agricultura, producen maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), papa, chícharo (*Pisum sativum* L.), avena (*Avena sativa* L.), trigo y diversos frutales.

La tenencia de la tierra en esta localidad es comunal, privada y ejidal. Ciento cincuenta ejidatarios sembraban papa de las variedades Marciana, Gema, Rosita, López, Motzamba, Yema, Greta y Alpha, las cuales producían entre 12 y 15 t ha<sup>-1</sup>; actualmente sólo se siembra Gigant (Chauvet *et al.*, 2004). La comunidad posee una cadena de seis manantiales, donde se extrae el agua para el riego, lo que favorece y completa el desarrollo adecuado de las actividades agrícolas (Vázquez, 1995).

### Material vegetativo

Los nueve genotipos de papa provenientes de minitubérculo evaluados en este estudio son: 777091, 7718335, 750660, 779040, 7819933, Zafiro, Alpha, Atlantic y Gigant; los primeros seis fueron proporcionados por el programa nacional de papa del INIFAP y las tres últimas fueron donadas por el área de multiplicación acelerada de papa del rancho la providencia, ubicado en Calimaya, Estado de México; en el Cuadro 1 se muestra el origen genético de este material.

### Diseño y tamaño de la parcela experimental

Los nueve genotipos se evaluaron en los años 2005 y 2006, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis combinado de ambos años se hizo como una serie de experimentos en tiempo. La parcela experimental tuvo tres surcos de 0.9 m de ancho por 1.8 m de largo; la parcela útil fue el surco central. En cada surco de cada parcela experimental se depositaron 10 minitubérculos separados a 0.2 m.

with altitude of 2 613 m. The annual average temperature varies from 5 to 20 °C, and the annual average precipitation from 800 to 1 600 mm; sandy loamy soil prevails (Borboa, 1999). San Francisco has 1 329 inhabitants of matlazinca origin, dedicated mainly to agriculture, they produce corn, bean (*Phaseolus vulgaris* L.), potato, pea (*Pisum sativum* L.), oat (*Avena sativa* L.), wheat and diverse fruit bearing trees.

The holding of land in this locality is communal, private and ejido. Hundred fifty 'ejidatarios' or commoners sowed potato of varieties Marciana, Gema, Rosita, López, Motzamba, Yema, Greta and Alpha, which produced between 12 and 15 t ha<sup>-1</sup>; at the moment only Gigant is sown (Chauvet *et al.*, 2004). The community has six springs and the irrigation favors and completes the development of agricultural activities (Vázquez, 1995).

### Vegetative material

The nine potato genotypes coming from minituber evaluated in this study are: 777091, 7718335, 750660, 779040, 7819933, Zafiro, Alpha, Atlantic and Gigant; the first six were provided by national potato program of INIFAP and the latter three were donated by the area of fast multiplication of potato of ranch La Providencia, located in Calimaya, State of México; in Table 1 genetic origin of this material is shown.

### Cuadro 1. Origen genético de los nueve genotipos de papa.

Table 1. Genetic origin of nine potato genotypes.

Código	Genotipo	Progenitores
C1	777091	WIS-BR-63-65*Juanita
C2	7718335	750821*Tollocan
C3	750660	AKN-69-1*Mexiquense
C4	779040	WIS BR62-3*65-ZA-5
C5	Alpha	Paul Kruger*Preferent
C6	Atlantic	Wauseon*B5141-6
C7	Gigant	Elvira*AM-66-42
C8	Zafiro	575042-5 PL (CAR-855)
C9	7719933	65-ZA-5 = [57-DO-4*Juanita]

## Desarrollo del trabajo en campo

La preparación del terreno en ambos años se hizo con tracción animal y consistió en un barbecho y una rastra. En 2005 la siembra se realizó el 29 de enero; el control de plagas y enfermedades del suelo se aplicó rizolex (4 kg ha<sup>-1</sup>), cercobin (3 kg ha<sup>-1</sup>) y counter (20 kg ha<sup>-1</sup>). En el año 2006 la siembra se hizo el 4 de marzo; el control de plagas y enfermedades en el suelo se aplicó amistar (1 kg ha<sup>-1</sup>) y metil tiofanato (3 kg ha<sup>-1</sup>). En el año 2005 el tratamiento de fertilización aplicado fue 180N-200P-150K, complementado con 50 kg de estiércol y nitrato chileno. Los riegos se aplicaron los días 30 de enero, 2, 13 y 27 de abril de 2005 y en 2006 se realizaron los días 30 de marzo, 5 de abril, 4 de mayo y 10 de junio. En ambos años la maleza se eliminó manualmente y las plagas en el follaje se controlaron con confidor en dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>. En 2005 el corte del follaje fue químico (4 de junio) y manual (2 de agosto) en 2006 sólo fue manual. La cosecha manual se realizó el 21 de junio de 2005 y el 29 de agosto de 2006.

## Variables de estudio

Los datos registrados en cada variable se basaron en un tamaño de muestra de 10 plantas por parcela experimental útil. Las variables registradas fueron número de tubérculos por planta (NT), diámetro de tubérculo (DT) medido en la parte central del tubérculo y expresado en cm, longitud del tubérculo en cm (LT), peso de tubérculo por planta en g (PT) y rendimiento de tubérculo (RT) por hectárea.

## Análisis estadístico

Los datos de cada variable se sometieron a un análisis de varianza individual y combinado, asumiendo que los ambientes (A), los genotipos (G) y la interacción G\*A correspondieron a un modelo de efectos aleatorios (Sahagún, 1992). También se hizo un análisis de componentes principales, conocido como genotipo por variable (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2007) y un análisis de conglomerados basado en el método de agrupamiento de pares no ponderados con medias aritméticas (UPGMA method), descrito por Johnson y Wichern (1998).

Adicionalmente se calculó la heredabilidad ( $h^2$ ) en sentido amplio, como un estimador de variabilidad genética entre genotipos, usando el método de los valores esperados de los cuadrados medios del análisis de varianza combinado.

## Design and size of experimental plot

The nine genotypes were evaluated in years 2005 and 2006, in an experimental design of complete blocks at random with four repetitions. The combined analysis of both years was made as a series of experiments over time. The experimental plot had three furrows of 0.9 m width and 1.8 m length; the useful parcel was the central furrow. In each furrow of each experimental plot 10 minitubers were sown separated at 0.2 m.

## Development of field work

The preparation of the land in both years was made with animal traction and it consisted on a fallow and a trail. In 2005 the planting was made in January 29; to control plagues and diseases to soil was applied rizolex (4 kg ha<sup>-1</sup>), cercobin (3 kg ha<sup>-1</sup>) and counter (20 kg ha<sup>-1</sup>). In year 2006 the planting was made on March 4; to control of plagues and diseases to soil was applied amistar (1 kg ha<sup>-1</sup>) and thiophanate methyl (3 kg ha<sup>-1</sup>). In year 2005 the applied fertilization treatment was 180N-200P-150K, supplemented with 50 kg of chilean manure and nitrate. The irrigations were applied on days January 30; 2, 13 and 27 of April of 2005 and in 2006 they were carried out the days March 30, April 5, May 4 and June 10. In both years the overgrowth was eliminated manually and the foliage plagues were controlled with confidor in dose of 1 L ha<sup>-1</sup>. In 2005 the foliage cut was chemical (June 4) and manual (August 2) in 2006 it was only manual. The manual harvest was done in June 21, 2005 and August 29, 2006.

## Study variables

The data registered in each variable were based on a sample size of 10 plants by useful experimental plot. The registered variables were number of tubers per plant (NT), tuber diameter (DT) measured in the central part of the tuber and expressed in cm, length of tuber in cm (LT), tuber weight per plant in g (PT) and tuber yield (RT) per hectare.

## Statistical analysis

The data of each variable underwent an individual and combined analysis of variance, assuming that the environments (A), the genotypes (G) and the interaction G\*A corresponded to a model of random effects (Sahagún, 1992). an analysis of main components was also made, known as genotype per variable (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2007)

Debido que las variedades se propagaron vegetativamente y con la suposición de ausencia de variabilidad genética dentro de ellas, la estimación de  $h^2$  para cada variable se hizo con la fórmula:  $h^2 = 100 [\sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_{GA}/a + \sigma^2_E/ra)]$ ; donde:  $\sigma^2_G$  = varianza genética;  $\sigma^2_{GA}$  = varianza de la interacción G\*A;  $\sigma^2_E$  = varianza del error combinado; a y r = número de ambientes y de repeticiones, respectivamente (Pérez *et al.*, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de varianza

Los cocientes entre cuadrados medios para años (A), genotipos (G) e interacción G\*A, indican que los valores de F fueron significativos ( $p \leq 0.01$ ) en las cinco variables (Cuadro 2). Estos resultados muestran que hubo heterogeneidad ambiental asociada en ambos años, que hay variabilidad genética entre cultivares de papa y que la interacción genotipo\*ambiente, originó una clasificación diferente de los cultivares en ambos años; estos resultados son similares a los obtenidos por Estevez *et al.* (1984), quienes encontraron diferencias significativas en las tres fuentes de variación, para número de tubérculos y rendimiento de tubérculo.

### Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de valores de F en nueve genotipos de papa, durante 2005 y 2006.

Table 2. Squares average and statistical significance of values of F in nine potato genotypes, during 2005 and 2006.

FV	GL	NT	PT	DT	LT	RT
Años (A)	1	95.91**	2160774**	54.81**	137.5**	8534.7**
Repetición (A)	6	5.25	190032.9	0.12	0.39	29.8
Genotipos (G)	8	49.04**	126598.2**	1.13**	2.76**	332.4**
A*G	8	20.84**	44746.5*	1.15**	1.38**	221.1**
Error	48	3.36	19046	0.15	0.26	25.7
CV (%)		26.4	30.2	7.42	7.79	19.6
Total	71					

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; NT= número de tubérculos por planta; PT= peso de tubérculo por planta; DT= diámetro de tubérculo; LT= longitud de tubérculo; RT= rendimiento de tubérculo; CV= coeficiente de variación; \* = significativo ( $p=0.05$ ); \*\* = significativo ( $p=0.01$ ).

### Heredabilidad ( $h^2$ )

Los valores de  $h^2$  variaron de -2 a 64.9 % (Cuadro 3). Thompson *et al.* (1983) estimaron valores de  $h^2$  para número, diámetro y rendimiento de tubérculo de 64,

and an analysis of conglomerates based on unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA method), described by Johnson and Wichern (1998).

Additionally heredability was calculated ( $h^2$ ) in wide sense, as an estimate of genetic variability between genotypes, using the method of the prospective values of square averages of combined analysis of variance. Due that varieties were with vegetative propagation and with assumption of absence of genetic variability inside them, the  $h^2$  estimate for each variable was made with the formula:  $h^2 = 100 [\sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_{GA}/a + \sigma^2_E/ra)]$ ; where:  $\sigma^2_G$  = genetic variance;  $\sigma^2_{GA}$  = variance of the interaction G\*A;  $\sigma^2_E$  = variance of the combined error; a and r = number of environments and repetitions, respectively (Pérez *et al.*, 2007).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of variance

The quotients between square average for years (A), genotypes (G) and interaction G\*A, indicates that the values of F were significant ( $p \leq 0.01$ ) in five variables (Table 2). These results show that there was

environmental heterogeneity associated in both years, that there is genetic variability between potato cultivars and that the interaction genotipo\*ambiente originated a different classification from the cultivars in both years;

51 y 61%, respectivamente. En el presente estudio la heredabilidad del rendimiento de tubérculo fue de 33.5%. Pérez *et al.* (2008) reportaron valores de  $h^2$  superiores al 50%, para número (64.8%), peso (71.4%), diámetro (80.9%), longitud (42.4%) y rendimiento de tubérculo (91.9%).

En el análisis combinado se observó que la varianza de la interacción genotipo\*ambiente (IGA), fue ligeramente mayor o igual que la varianza entre genotipos, estimaciones similares a las observadas por Pérez *et al.* (2007). Estos resultados indican que existe variabilidad genética entre cultivares de papa, pero ésta puede ser enmascarada por los ambientes heterogéneos representados por los años que predominen en San Francisco Oxtotilpan; también sugieren que la varianza de la IGA reduciría la respuesta a la selección, especialmente en diámetro y rendimiento de tubérculo, características cuantitativas con menor variabilidad genética y más afectadas por la interacción genotipo\*años.

Estos resultados sugieren que el mejoramiento de genotipos sobresalientes podría hacerse con base al número, peso y longitud de tubérculo por planta y que este germoplasma sería útil en el mejoramiento genético y en la generación de tecnología de la papa en las sierras y Valles Altos del centro de México (Cuadro 3).

### Comparación de medias

Con relación a ambos años, en 2006 se observó la mejor expresión fenotípica en diámetro (6.19 cm), longitud (7.96 cm), peso de tubérculo por planta (629.86 g) y también se obtuvo el mayor rendimiento (36.77 t ha<sup>-1</sup>). En 2005

these results are similar to those obtained by Estevez *et al.* (1984) who found significant differences in the three variation sources, for number of tubers and tuber yield.

### Heredability ( $h^2$ )

The  $h^2$  values varied from -2 to 64.9% (Table 3). Thompson *et al.* (1983) estimated  $h^2$  values for number, diameter and yield of tuber of 64, 51 and 61%, respectively. In this study the heredability of tuber yield was of 33.5%. Pérez *et al.* (2008) reported values of  $h^2$  superior to 50%, for number (64.8%), weight (71.4%), diameter (80.9%), length (42.4%) and tuber yield (91.9%).

In the combined analysis it was observed that variance of interaction genotipo\*ambiente (IGA) was lightly bigger or the same as the variance between genotypes, similar estimates to those observed by Pérez *et al.* (2007). These results indicate that genetic variability exists among potato cultivars, but this can be masked by the heterogeneous environments represented by the years that prevails in San Francisco Oxtotilpan; they also suggest that the variance of IGA would reduce the response to selection, especially in diameter and tuber yield, quantitative characteristic with smaller genetic variability and more affected by the interaction genotype\*years.

These results suggest that the improvement of excellent genotypes could be made with base to the number, weight and tuber length per plant and that this germoplasma would be useful in genetic improvement and in the generation of potato technology in the mountains and High Valleys of central Mexico (Table 3).

### Cuadro 3. Análisis combinado de varianza y heredabilidad ( $h^2$ ), para cinco variables en nueve variedades de papa, durante 2005 y 2006.

Table 3. Combined analysis of variance and heredability ( $h^2$ ), for five variables in nine potato varieties, during 2005 and 2006.

Variable	$\sigma^2_G$	$\sigma^2_{GA}$	$\sigma^2_E$	$h^2$ (%)
Número de tubérculos por planta	3.52	4.37	3.36	57.5
Peso de tubérculo por planta	10231.5	6 425.1	19046	64.9
Diámetro de tubérculo	-0.003	0.25	0.156	-2
Longitud de tubérculo	0.172	0.28	0.263	49.9
Rendimiento de tubérculo por hectárea	13.92	48.84	25.74	33.5

$\sigma^2_G$ =varianza genética;  $\sigma^2_{GA}$ =varianza de la interacción G\*A;  $\sigma^2_E$ =varianza del error experimental.

sólo fue mayor el número de tubérculos por planta (8.1) (Cuadro 4); estos resultados son similares a los reportados por Gálvez (2001), quien mencionó que se pueden obtener de 25 a 39 t ha<sup>-1</sup>, en lugares templados usando minitubérculo. Al promediar ambos años (Cuadro 3), el genotipo 750660 fue el clon más sobresaliente en número de tubérculo por planta (11.12), seguido de Gigant (8.82) y 7719933 (8.83), pero éstos difirieron de los otros seis genotipos. Pérez *et al.* (2008) observaron entre 3.35 y 10.33 tubérculos por planta.

#### Cuadro 4. Comparación de medias considerando los dos años de evaluación.

Table 4. Comparison of averages considering two years of evaluation.

Año	Número de tubérculos por planta	Peso de tubérculo por planta (g)	Diámetro de tubérculo (cm)	Longitud de tubérculo (cm)	Rendimiento de tubérculo (t ha <sup>-1</sup> )
2005	8.1 a	283.39 b	4.45 b	5.205 b	15 b
2006	5.79 b	629.86 a	6.19 a	7.96 a	36.77 a
DMS	1.16	87.24	0.25	0.32	3.2

DMS= diferencia mínima significativa; las medias con las misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey,  $p=0.01$ ).

En peso de tubérculo por planta, 779040 (627.38 g) difirió significativamente de 7718335 (204.13 g) y los otros siete genotipos fueron estadísticamente iguales. Romero *et al.* (2003) y Pérez *et al.* (2008), reportaron valores inferiores a los del clon 779040 para Alpha (326.8 g) y Zafiro (314.2 g). Zafiro y 779040 mostraron el mayor diámetro de tubérculo (5.99 y 5.71 cm, respectivamente) y superaron significativamente a 7718335 (4.84 cm), Atlantic (5.04 cm) y 7719933 (5.05 cm). Las variedades Alpha (7.58 cm) y Gigant (7.42 cm) tuvieron la mayor longitud de tubérculo, seguidas de 7718335 (6.8 cm) y Zafiro (6.6 cm) y superaron estadísticamente a 777091, 750660, 779040, Atlantic y 7719933 (Cuadro 5a y 5b).

El genotipo con mayor producción de tubérculo fue 779040 (34.46 t ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 5a y 5b), que difirió significativamente de 7718335 (14.56 t ha<sup>-1</sup>), Alpha (22.15 t ha<sup>-1</sup>), Atlantic (20.73 t ha<sup>-1</sup>) y 7719933 (24.25 t ha<sup>-1</sup>); estos resultados son similares con Cadena *et al.* (1999).

Zarzynska (1996) obtuvo una producción de 23.1, 34.4 y 41.1 t ha<sup>-1</sup> usando minitubérculo de tres diámetros (1.1-1.5; 2.1-2.5; y 3.1-3.5 cm, respectivamente). Szutkowska (1996) manejó cinco variedades de minitubérculos de 1 a 1.5 y 2 a 2.5 cm de diámetro (2.1 a 7.2 g, respectivamente), plantados a 10, 20, 30 y 40 cm entre plantas y 62 cm entre hileras, el nivel de producción fue de 24 a 40.1 t ha<sup>-1</sup>. Por su parte Ranalli *et al.* (1994) al

#### Comparison of averages

With relationship to both years, in 2006 the best phenotypical expression was observed in diameter (6.19 cm), length (7.96 cm), tuber weight for plant (629.86 g) and the biggest yield was also obtained (36.77 t ha<sup>-1</sup>). In 2005 it was only bigger the number of tubers for plant (8.1) (Table 4); these results are similar to those reported by Gálvez (2001) who mentioned that can be obtained from 25 to 39 t ha<sup>-1</sup>, in

temperate places using minituber. When averaging both years (Table 3), the genotype 750660 was the most excellent clone in tuber number for plant (11.12), followed by Gigant (8.82) and 7719933 (8.83), but these differed of the other six genotypes. Pérez *et al.* (2008) observed between 3.35 and 10.33 tubers for plant.

In tuber weight per plant, 779040 (627.38 g) differed significantly of 7718335 (204.13 g) and the other seven genotypes were statistically similar. Romero *et al.* (2003) and Pérez *et al.* (2008) reported inferior values to those of the clone 779040 for Alpha (326.8 g) and Zafiro (314.2 g). Zafiro and 779040 showed the biggest tuber diameter (5.99 and 5.71 cm, respectively) and they overcame significantly to 7718335 (4.84 cm), Atlantic (5.04 cm) and 7719933 (5.05 cm). The varieties Alpha (7.58 cm) and Gigant (7.42 cm) they had the biggest tuber length, followed by 7718335 (6.8 cm) and Zafiro (6.6 cm) and they overcame statistically at 777091, 750660, 779040, Atlantic and 7719933 (Table 5a and 5b).

The genotype with more tuber production was 779040 (34.46 t ha<sup>-1</sup>) (Table 5a and 5b) that differed significantly of 7718335 (14.56 t ha<sup>-1</sup>), Alpha (22.15 t ha<sup>-1</sup>), Atlantic (20.73 t ha<sup>-1</sup>) and 7719933 (24.25 t ha<sup>-1</sup>); these results are similar with Cadena *et al.* (1999).



**Cuadro 5a. Comparación de medias entre genotipos de papa durante 2005 y 2006.****Table 5a. Comparison of averages between potato genotypes during 2005 and 2006.**

Genotipo	NT		$\bar{X}$	PT		$\bar{X}$	DT		$\bar{X}$
	2005	2006		2005	2006		2005	2006	
777091	7.50 bcd	5.67 a	6.58 bc	200.75 ab	647.5 ab	424.13 ab	4.27 bcd	7.76 abc	5.12 abc
7718335	2.47 d	2.72 b	2.60 d	55.75 b	352.5 b	204.13 b	3.52 d	8.96 ab	4.84 c
750660	15.1 a	7.15 a	11.12 a	441a	693.3 ab	567.13 a	4.33 abcd	7.61 bc	5.24 abc
779040	7.25 bcd	7.75 a	7.50 bc	317.5 ab	937.5 a	627.38 a	4.74 abc	7.31 c	5.71 ab
Alpha	6.05 bcd	5.12 ab	5.58 bcd	404 ab	471.3 b	437.63 ab	5.19 ab	8.82 abc	5.27 abc
Atlantic	7.35 bcd	5 ab	6.17 bc	213.75 ab	539.8 ab	376.75 ab	3.8 cd	7.3 c	5.04 bc
Gigant	11.82 ab	5.67 ab	8.82 ab	350 ab	759.8 ab	554.88 a	4.85 abc	9.24 a	5.65 abc
Zafiro	4.37 dc	6.22 ab	5.30 cd	336.5 ab	670.8 ab	503.63 a	5.45 a	7.39 c	5.99 a
7719933	11 abc	6.67 a	8.83 ab	231.75 ab	596.8 ab	414 ab	3.92 cd	7.49 c	5.05 bc
DMS	6.63	3.57	3.52	351.41	444.79	264.86	1.15	1.55	0.7587

NT= número de tubérculos por planta; PT= peso de tubérculo por planta (cm); DT diámetro de tubérculo (cm);  $\bar{X}$ = media aritmética.

**Cuadro 5b. Comparación de medias entre genotipos de papa durante 2005 y 2006.****Table 5b. Comparison of averages between potato genotypes during 2005 and 2006.**

Genotipo	LT		$\bar{X}$	RT		$\bar{X}$
	2005	2006		2005	2006	
777091	5.07 b	7.76 abc	6.42 b	11.6 bc	38.48 bc	25.04 abc
7718335	4.64 b	8.96 ab	6.8 ab	2.92 c	26.19 c	14.56 d
750660	4.92 b	7.61 bc	6.27 b	27 a	33.83 bc	30.42 abc
779040	5.16 ab	7.31c	6.23 b	13.18 bc	55.74 a	34.46 a
Alpha	6.53 a	8.62 abc	7.58 a	17.76 ab	26.55c	22.15 cd
Atlantic	4.62 b	7.3 c	5.96 b	11.66 bc	29.81 c	20.74 cd
Gigant	5.61 ab	9.24 a	7.42 a	22.7 ab	45.04 ab	33.85 ab
Zafiro	5.82 ab	7.39 c	6.6 ab	14.44 bc	40.5 abc	27.47 abc
7719933	4.44 b	7.49 c	5.96 b	13.71 bc	34.79 bc	24.25 bcd
DMS	1.42	1.55	0.9853	11.72	17.23	9.7385

LT= longitud de tubérculo (cm); RT= rendimiento de tubérculo (t ha<sup>-1</sup>);  $\bar{X}$ = media aritmética.

utilizar minitubérculos obtuvieron rendimientos de 38.9 y 24.4 t ha<sup>-1</sup> a una distancia entre hileras de 60 y 90 cm respectivamente. Los minitubérculos de mayor peso (0.13 a 0.25 y de 2 a 3.99 g) presentaron una emergencia regular, mayor cobertura foliar, alta producción de materia seca y peso fresco (Lommen y Struik, 1994).

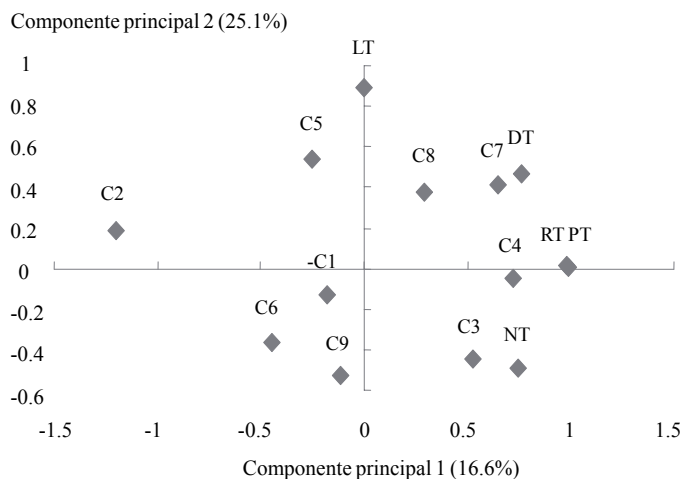
Thornton y Neundorfer (1986) obtuvieron mayor número de tallos por planta y mayor producción total al incrementar el tamaño del minitubérculo (15 a 28 g). Estos resultados muestran que producir minitubérculos sanos,

Zarzynska (1996) obtained a production of 23.1, 34.4 and 41.1 t ha<sup>-1</sup> using minituber with three diameter ranges (1.1-1.5; 2.1-2.5; and 3.1-3.5 cm, respectively). On the other hand Szutkowska (1996) managing five varieties starting from minitubers from 1 to 1.5 and 2 to 2.5 cm diameter (2.1 to 7.2 g, respectively), planted at 10, 20, 30 and 40 cm between plants and 62 cm between rows, the reached production level was from 24 to 40.1 t ha<sup>-1</sup>. On the other hand Ranalli *et al.* (1994) when using minitubers obtained yield of 38.9 and 24.4 t ha<sup>-1</sup> at a distance between rows of 60 and 90 cm respectively. The minitubers of more weight (0.13 a

es la base para una buena calidad de tubérculo semilla de papa para la siembra (Van der Zaag, 1987). Las variedades comerciales Gigant, Mondial y Bayoneta, produjeron en promedio 5 minituberculos por planta respectivamente, registrando 60% en categorías comerciales (Villavicencio *et al.*, 2008).

### Análisis de componentes principales (CP)

En el biplot de la Figura 1, se puede inferir que el rendimiento se correlacionó positiva y significativamente ( $p \leq 0.01$ ) con peso, diámetro y longitud de tubérculo; estos resultados son similares a los reportados por Pérez *et al.* (2007). El rendimiento de las nueve 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\*ambiente como lo sugirió Milton y Allen (1995). También se observó que las CP1 (61.6%) y CP2 (25.1%) explicaron 86.7% de la variación total original (Figura 1).



**Figura 1. Interrelación entre nueve genotipos de papa (C1= 777091; C2= 7718335; C3= 750660; C4= 779040; C5= Alpha; C6= Atlantic; C7= Gigant, C8= Zafiro; C9= 7719933) y cinco variables morfológicas, representadas en los componentes principales 1 y 2.**

**Figure 1. Interrelation between nine potato genotypes (C1= 777091; C2= 7718335; C3= 750660; C4= 779040; C5= Alpha; C6= Atlantic; C7= Gigant, C8= Zafiro; C9= 7719933) and five morphological variables, represented in main components 1 and 2.**

0.25 and of 2 to 3.99 g) showed a regular emergence, bigger foliage covering, high production of dry matter and fresh weight (Lommen and Struik, 1994).

Thornton and Neundorfer (1986) obtained bigger number of stems per plant and bigger total production when increasing the size of minituber (15 to 28 g). These results show that producing healthy minitubers, is the base for a good quality of tuber seed potato for crop (Van der Zaag, 1987). The commercial varieties Gigant, Mondial and Bayoneta, produced 5 minitubers on average per plant, registering 60% in commercial categories (Villavicencio *et al.*, 2008).

### Analysis of main components (CP)

In the biplot of Figure 1, can be inferred that yield was correlated positive and significantly ( $p \leq 0.01$ ) with weight, diameter and tuber length; these results are similar to those reported by Pérez *et al.* (2007). The yield of nine varieties was increased in response to a favorable expression of its components of yield and in function of the genetic, environmental differences and of the interaction genotipo\*ambiente as suggested by Milton and Allen (1995). It was also observed that the CP1 (61.6%) and CP2 (25.1%) explained 86.7% of the original total variation (Figure 1).

In the biplot graph, the CP1 was defined mainly for tuber yield per hectare (RT) and per plant (PT), while the CP2 associated mainly with diameter (DT) and tuber length (LT). These results also indicate that there were three groups of genotypes: a) group 1, 7718335 (C2) was observed with negative interaction with the CP1, smaller yield ( $14.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) and smaller average in number of tubers per plant (NT), tuber weight for plant (NT) and tuber diameter (DT); b) group 2, here were classified 777091 (C1), Alpha (C5), Atlantic (6) and 7719933 (C9) that showed little interaction with the CP1 and yields between  $20.7$  and  $25 \text{ t ha}^{-1}$ ; and c) group 3, it was detected to the best genotypes: 750660 (C3), 779040 (C4), Gigant (C7) and Zafiro (C8), with the biggest yields (between  $27.4$  and  $34.4 \text{ t ha}^{-1}$ ) and with the biggest positive interaction with the CP1.

The tuber yield (RT), the number (NT), the diameter (DT) and the tuber longitude (LT) are very important variables, so much for fresh market as for the one dedicated to agroindustry. For fresh consumption tubers are required with dimensions between 4.5 and 5 cm, while for snack industry

En la gráfica del biplot, la CP1 se definió principalmente por rendimiento de tubérculo por hectárea (RT) y por planta (PT), mientras que la CP2 se asoció principalmente con diámetro (DT) y longitud de tubérculo (LT). Estos resultados también indican que hubo tres grupos de genotipos: a) grupo 1, se observó a 7718335 (C2) con interacción negativa con el CP1, menor rendimiento ( $14.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) y menor promedio en número de tubérculos por planta (NT), peso de tubérculo por planta (NT) y diámetro de tubérculo (DT); b) grupo 2, se clasificaron a 777091 (C1), Alpha (C5), Atlantic (6) y 7719933 (C9), que presentaron poca interacción con el CP1 y rendimientos entre  $20.7$  y  $25 \text{ t ha}^{-1}$ ; y c) grupo 3, se detectó a los mejores genotipos: 750660 (C3), 779040 (C4), Gigant (C7) y Zafiro (C8), con los mayores rendimientos (entre  $27.4$  y  $34.4 \text{ t ha}^{-1}$ ) y con la mayor interacción positiva con el CP1.

El rendimiento de tubérculo (RT), el número (NT), el diámetro (DT) y la longitud de tubérculo (LT) son variables muy importantes, tanto para el mercado en fresco como para el destinado a la agroindustria. Para el consumo en fresco se requieren tubérculos con dimensiones entre  $4.5$  y  $5 \text{ cm}$ , mientras que para la industria de las frituras los tubérculos deben tener una tamaño mayor a  $6.5 \text{ cm}$ . En el presente estudio las nueve variedades se clasificaron en segunda categoría de  $4.84$  a  $5.99 \text{ cm}$  (Macias *et al.*, 2006).

El incremento en PT, también se atribuyó a un incremento en DT y LT, pero el aumento en el número de tubérculos por planta (NT) se asoció a una disminución significativa en LT. En otros estudios se ha concluido que el número de tallos principales está correlacionado con el número de tubérculos (NT), por lo que es importante favorecer esta asociación fenotípica.

Rojas *et al.* (1978); Rousselle *et al.* (1999); Estrada (2000), señalaron que estos componentes del rendimiento también influyen en la calidad y en el rendimiento de tubérculo por hectárea. El número de tubérculos está genéticamente controlado y depende del número de tallos por planta, cada tallo produce de  $2.5$  a  $4.5$  tubérculos. El tamaño de tubérculo depende de la interacción de genes menores (Howard, 1970).

### Análisis de conglomerados

Esta técnica multivariada identificó a tres grupos de genotipos al considerar una distancia de agrupamiento de  $0.6$ ; el grupo 1, integrado por 777091, 7719933, Alpha y Atlantic, con rendimiento promedio de  $23 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $413.12 \text{ g planta}^{-1}$ ,  $6.79$  tubérculos  $\text{planta}^{-1}$ ,  $5.12 \text{ cm}$  de diámetro y  $6.48$

tubers should have a bigger size of  $6.5 \text{ cm}$ . In this study the nine varieties were classified in second category from  $4.84$  to  $5.99 \text{ cm}$  (Macias *et al.*, 2006).

Increased in PT was also attributed to an increment in DT and LT, but the increase in the number of tubers per plant (NT) was associated to a significant decrease in LT. In other studies has been concluded that the number of main stems correlated with the number of tubers (NT), for the which is important to favor this phenotypical association.

Rojas *et al.* (1978); Rousselle *et al.* (1999); Estrada (2000), pointed out that these components of yield also influence in the quality and in the tuber yield per hectare. The number of tubers is genetically controlled and it depends on the number of stems per plant, each stem produces from  $2.5$  to  $4.5$  tubers. The tuber size depends on the smallest interaction of genes (Howard, 1970).

### Analysis of conglomerates

This multivariate technique identified three groups of genotypes when considering a distance of cluster of  $0.6$ ; group 1, integrated by 777091, 7719933, Alpha and Atlantic, with average yield of  $23 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $413.12 \text{ g planta}^{-1}$ ,  $6.79$  tubers  $\text{planta}^{-1}$ ,  $5.12 \text{ cm}$  diameter and  $6.48 \text{ cm}$  of tuber length; group 2, conformed by the best genotypes, 750660, Gigant, Zafiro and 779040, with average yield of  $31.55 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $8.18$  tubers  $\text{planta}^{-1}$ , tuber weight of  $563.24 \text{ g planta}^{-1}$ , tuber diameter of  $5.64 \text{ cm}$  and tuber length of  $6.63 \text{ cm}$ ; group 3 was only formed with 7718335, the clone with the smallest tuber yield ( $14.56 \text{ t ha}^{-1}$  and  $204.13 \text{ g planta}^{-1}$ ) and with less dimensions in number of tubers per plant ( $2.6$ ) and tuber diameter ( $4.84 \text{ cm}$ ), but with tuber length ( $6.8 \text{ cm}$ ) statistically same to the average of genotypes of groups 1 and 2 (Table 4; Figure 2).

Parga *et al.* (2005) estimated tuber yields in Alpha (Preferent\*Paul Kruger) and Atlantic (Wauseon\*B5141-6) of  $30.85$  and  $31.79 \text{ t ha}^{-1}$ . When using method of Ward to group potato varieties, they observed that both genotypes were classified in different groups, different results to those observed by this study, since both were classified in group 1, with average yield of  $23 \text{ t ha}^{-1}$ .

The results showed in this study are also consistent with those published by other authors. When considering Alpha, Gigant (Elvira\*AM-66-42) and Zafiro [575042-5 PL (CAR-8559)], Orona-Castro *et al.* (2006) classified to the first in one group and to the other two remaining in other when they

cm de longitud de tubérculo; el grupo 2, estuvo conformado por los mejores genotipos, 750660, Gigant, Zafiro y 779040, con rendimiento promedio de 31.55 t ha<sup>-1</sup>, 8.18 tubérculos planta<sup>-1</sup>, peso de tubérculo de 563.24 g planta<sup>-1</sup>, diámetro de tubérculo de 5.64 y longitud de tubérculo de 6.63 cm; el grupo 3 se formó sólo con 7718335, el clon con el menor rendimiento de tubérculo (14.56 t ha<sup>-1</sup> y 204.13 g planta<sup>-1</sup>) y con menos dimensiones en número de tubérculos por planta (2.6) y diámetro de tubérculo (4.84 cm), pero con longitud de tubérculo (6.8 cm) igual estadísticamente al promedio de los genotipos de los grupos 1 y 2 (Cuadro 4; Figura 2).

Parga *et al.* (2005) estimaron rendimientos de tubérculo en Alpha (Preferent\*Paul Kruger) y Atlantic (Wauseon\*B5141-6) de 30.85 y 31.79 t ha<sup>-1</sup>. Al emplear el método de Ward para agrupar a las variedades de papa, observaron que ambos genotipos fueron clasificados en grupos diferentes, resultados distintos a estos, ya que ambas fueron clasificadas en el grupo 1, con rendimientos promedio de 23 t ha<sup>-1</sup>.

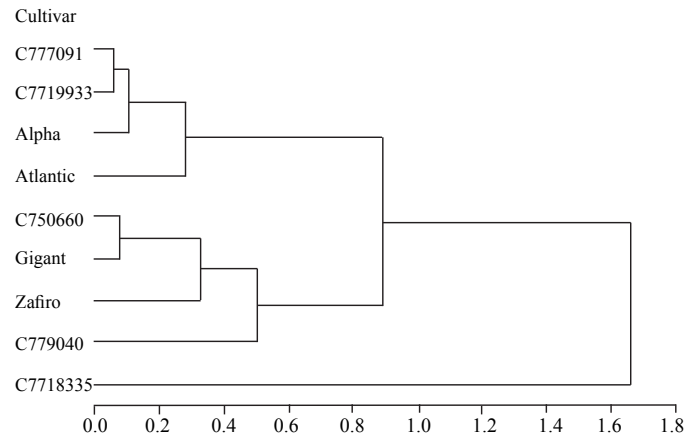
Estos resultados son consistentes con otros autores, al considerar a Alpha, Gigant (Elvira\*AM-66-42) y Zafiro [575042-5 PL (CAR-8559)], Orona-Castro *et al.* (2006), clasificaron a la primera en un grupo y las dos restantes en otro cuando emplearon el método de agrupación de pares no ponderados con medias aritméticas (UPGMA) para caracterizar molecularmente genotipos comerciales y elite de papa en México.

El biplot de la Figura 1, sugiere que es posible incrementar la producción de tubérculo en los genotipos de papa que se siembran en esta región del Estado de México, favoreciendo directamente la expresión fenotípica del rendimiento *per se* o indirectamente, al incrementar sus componentes del rendimiento. Estos resultados podrían estar relacionados con la forma en que el fitomejorador elige material genético sobresaliente: él elige clones sanos de mayor rendimiento de tubérculo por planta, así como mayores dimensiones en longitud y diámetro de tubérculo. Debido que estas variables están correlacionadas positiva y significativamente, el resultado es la identificación y elección de clones de mayor rendimiento por hectárea.

## CONCLUSIONES

El uso de minitubérculo permitió identificar a 779040 como el genotipo de mejor adaptación en San Francisco Oxtotilpan, Municipio de Temascaltepec, Estado

used the unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA Method) to molecularly characterize commercial and supreme potato genotypes in Mexico.



**Figura 2. Dendrograma de distancias de agrupamiento entre cultivares de *Solanum tuberosum*, obtenidas con el método de agrupación de pares no ponderados con medias aritméticas (UPGMA Method).**

**Figure 2. Dendrogram of cluster distances between cultivars of *Solanum tuberosum*, obtained with unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA Method).**

The biplot of Figure 1 suggests that it is possible to increase tuber production in potato genotypes that are cultivated in this region of State of Mexico, favoring directly the phenotypical expression of yield by itself or indirectly, when increasing their components of the yield. These results could be related to the way in that phytoimprover chooses excellent genetic material: chooses healthy clones with bigger tuber per plant yield, as well as bigger dimensions in tuber length and diameter. Due that these variables are positive and significantly correlated, the result is the identification and election of clones of more yield per hectare.

## CONCLUSIONS

The minituber use allowed to identify to 779040 as genotype of better adaptation in San Francisco Oxtotilpan, municipality of Temascaltepec, State of Mexico in 2005 and 2006. This clone had the biggest average yield of tuber (34.46 t ha<sup>-1</sup>),

de México en 2005 y 2006. Este clon tuvo el mayor rendimiento de tubérculo promedio ( $34.46 \text{ t ha}^{-1}$ ), seguido de Gigant ( $33.85 \text{ t ha}^{-1}$ ), 750660 ( $30.42 \text{ t ha}^{-1}$ ), y Zafiro ( $27.47 \text{ t ha}^{-1}$ ); estos genotipos fueron clasificados en el mismo grupo por el análisis de componentes principales y conglomerados; por lo tanto, se recomiendan para siembra comercial y para la generación de tecnología en el área de estudio.

La correlación positiva y significativa entre rendimiento con peso, diámetro y longitud de tubérculo por planta, sugieren que los genotipos de papa considerados en el presente estudio podrían mejorarse eficientemente por medio del rendimiento *per se* o considerando estas características del tubérculo.

followed by Gigant ( $33.85 \text{ t ha}^{-1}$ ), 750660 ( $30.42 \text{ t ha}^{-1}$ ), and Zafiro ( $27.47 \text{ t ha}^{-1}$ ); these genotypes were classified in the same group by the analysis of main components and conglomerates; therefore, they are recommended for commercial crop and for generation technology in the area of study.

The positive and significant correlation between yield with weight, diameter and tuber length per plant, suggest that potato genotypes considered in this study could improve efficiently by means of the yield itself or considering these characteristics of the tuber.

*End of the English version*



## LITERATURA CITADA

- Alonso, A. F. 2002. El cultivo de la papa. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 381 p.
- Borboa, R. A. 1999. Monografía municipal del municipio de Temascaltepec. Instituto Mexiquense de Cultura. Gobierno del Estado de México, Toluca, México. 239 p.
- Cadena, H. M. A.; Díaz, V. M.; López, D. H.; Zavala, Q. T. E.; Flores, L. R.; Villareal, G. M.; Rivera, P. A.; Rubio, C. O.; Rocha, R. R.; Azpiroz, R. H. S.; Rodríguez, O. J. L.; y Barrales, D. S. 1999. Evaluación de variedades de papa para producción de tubérculos en el Estado de México y Tlaxcala. *Agric. Téc. Méx.* 26:97-15.
- Chauvet, M.; González, A. R. L.; Barajas, O. R. E.; Castañeda, Z. Y. y Massieu, T. Y. C. 2004. Impactos sociales de la biotecnología en el cultivo de la papa. Editorial Praxis. Universidad Autónoma Metropolitana. 289 p.
- Estévez, V. A.; González, E. M.; Castillo, J.; Moré, O. y Ortíz, 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.
- Gálvez, R. A. 2001. Producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la técnica de cultivo de tejidos vegetales. URL: <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort01/Ponencia-05.pdf>.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la producción de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- Hawkes, J. G. 1990. The potato, evolution, biodiversity, and genetic resources. Bellhaven Press, London. 259 p.
- Howard, H. W. 1970. Genetics of the potato *Solanum tuberosum* L. Logos Press, London. 126 p.
- Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 1998. Applied multivariate statistical analysis. Prentice Hall. Fourth Edition. USA. 815 p.
- Lommen, W. J. and Struik, P. C. 1994. Field performance of potato minitubers with different fresh weight and conventional seed tubers: crop establishment and yield formation. *Potato Res.* 37(3):301-313.
- Macías, V. L. M.; Reyes, M. L. y Robles, E. F. J. 2006. Guía para cultivar papa en Aguascalientes. INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes, México. Folleto técnico. Núm. 13. 16 p.
- Maldonado, C. C. 1996. Minitubérculos y mejores papas. Edición mexicana. El Surco. 101(3):7-8.
- Milton, P. J. and Allen S. D. 1995. Breeding field crops. Fourth Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 494 p.
- Orona-Castro, F.; Pecina-Quintero, V.; Rocha-Peña, M. A.; Cadena-Hinojosa, M. A.; Martínez de la Vega, O. y Almeyda-León, I. H. 2006. Caracterización molecular de genotipos comerciales y élite de papa en México. *Agric. Téc. Méx.* 33(2):171-180.

- Parga, T. V. M.; Zamora, V. V. Z.; González, V. V. M.; García, G. S. V. y Villavicencio, G. E. E. 2005. Interacción genotipo por ambiente en clones de papa bajo riego en el noroeste de México. *Agríc. Téc. Méx.* 31(1):65-72.
- Pérez-López, D. J.; Vázquez-García, L. M.; Sahagún-Castellanos, J. y Rivera-Peña, A. 2007. Variabilidad y caracterización de diez variedades de papa en tres localidades del Estado de México. *Revista Chapingo. Serie Hort.* 13(1):13-19.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Díaz, H. C.; Rivera, P. A. y Ramón, G. C. 2008. Análisis del rendimiento y sus componentes en 17 genotipos de papa. *Rev. Cienc. Agríc. Informa.* 18:27-36.
- Ranalli, P.; Bassi, F.; Ruaro, G.; Candilo, M.; Mandolino, G. and Dicandilo, M. 1994. Microtuber and minituber production and field performance compared with normal tubers. *Potato Res.* 37(4):383-391.
- Rojas, S.; Molina, G. J. D. y Ángeles, A. H. H. 1978. Efecto del tamaño y número de brotes de tubérculo-semilla en el rendimiento y otros caracteres de papa. *Agrociencia.* 31:83-102.
- Romero, M. C.; Lozoya, S. H. y Hernández, V. A. 2003. Adaptación por resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) de genotipos de papa en Toluca, México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 9 (39):193-198.
- Rubio, C. O. A.; Rangel, G. J. A.; Flores, L. R.; Magallanes, G. J. V.; Díaz, H. C.; Zavala, Q. T. E.; Rivera, P. A.; Cadena, H. M.; Rocha, R. R.; Ortiz, T. C.; y Paredes, T. A. 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y Valles Altos del centro de México. INIFAP-SAGARPA. México. Folleto técnico. Núm. 1. 79 p.
- Rousselle, P.; Robert, Y. y Crosnier, J. C. 1999. La patata. Mateo, B. J. M. (Trad.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Sahagún, C. J. 1992. El ambiente, el genotipo y su interacción. *Revista Chapingo.* 80:5-12.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18(2):188-203.
- Scout, J. G. M.; Rosegrant, W. y Ringler, C. 2000. Raíces y tubérculos para el siglo 21: tendencias, proyecciones y opciones políticas. International Food Policy Research Institute. España. Folleto. Núm. 66. 31 p.
- Szutkowska, M. 1996. Response of plants grown from various size minitubers and from traditional seed tubers to density of planting. *Biuletyn Instytutu Ziemiaka.* 46:65-76.
- Thompson, P. G.; Mendoza, H. A. and Plaisted, R. L. 1983. Estimation of genetic parameters for characters related to potato propagation by true seed (TPS) in an indigene population. *Ame. Potato J.* 60:394-401.
- Thrnton, M. y Neudorfer, D. 1986. Field performance of minitubers as affected by size and greenhouse harvest date. *Ame. Potato J.* 63:8-13.
- Villavicencio, G. E.; Arellano, G. M. A. y Rubio, C. O. A. 2008. Producción de minitubérculo en invernadero. Memorias del XII congreso nacional de papa (*Solanum tuberosum* L.). Los Mochis, Sinaloa. 93 p.
- Van der Zaag, R. 1987. Yield reduction in relation to virus infection. *In: viruses of potatoes and seed-potatoes production.* Chapter 9. Podoc. Wageningen, Netherlands. 146-150 pp.
- Vásquez, R. G. 1995. Pueblos indígenas de México. Matlazincas. Instituto Nacional Indigenista (INI). Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Distrito Federal, México. 1-23 pp.
- Zarzynska, K. 1996. The influence of presprouting of various size minitubers on tuber yield, Its structure and the number of seed tubers obtained from a unit area. *Biuletyn Instytutu Ziemiaka.* Núm. 7. 25-34 pp.