

FLORACIÓN, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE PAPA

R. Mora-Aguilar¹; A. Peña-Lomelí; J. E. Rodríguez-Pérez; L. M. Pérez-Pérez; R. González-Laines

¹Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México. Correo-e: mar@correo.chapingo.mx (¹Autor responsable).

RESUMEN

En Chapingo, México, en años diferentes, fueron realizadas dos evaluaciones de genotipos de papa con el fin de conocer el comportamiento de la floración, la producción de semilla sexual, así como determinar la calidad fisiológica de la semilla recién cosechada. El número de flores por planta, viabilidad de polen, amarre de frutos y número de bayas maduras por planta variaron ampliamente entre genotipos y sólo entre 10 y 31 % de éstos, en cada año de prueba, tuvieron un rendimiento de semilla de 9 a 139 kg·ha⁻¹, en cuyo caso destacó el cv. Tollocan; el número de semillas por baya y el peso de 100 semillas fue 242 y 32 mg, respectivamente. Debido al estado de letargo, la semilla recién cosechada sólo alcanzó el 79 y 72 % de viabilidad y de germinación, respectivamente; mejor calidad fisiológica tuvieron los genotipos 'San José', 'Greta', 'Tollocan', 'C-171836' y 'C-575049'.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum tuberosum* L., germoplasma, polinización, amarre de frutos, letargo, viabilidad, germinación.

FLOWERING, YIELD AND SEED QUALITY IN POTATO GENOTYPES

SUMMARY

In Chapingo, Mexico, two evaluations of potato genotypes were carried out in different years with the purpose of knowing the behavior of flowering and sexual seed production, and to determine the physiological quality of recently harvested seed. Number of flowers per plant, pollen viability, fruit set, and number of mature berries per plant varied widely among genotypes. Only between 10 and 31 % of genotypes, in each year of testing, had seed yields from 9 to 139 kg·ha⁻¹, where cv. Tollocan was outstanding in seed number per berry and weight of 100 seeds were 242 and 32 mg, respectively. Due to dormancy, recently harvested seed only reached 79 and 72 % germination, respectively. Best seed physiological quality was shown by genotypes 'San Jose', 'Greta', 'Tollocan', 'C-171836', and 'C-575049'.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Solanum tuberosum* L., germplasm, pollination, fruit set, dormancy, viability, germination.

INTRODUCCIÓN

En casi todos los países productores de papa, ésta se propaga asexualmente, a través de tubérculo, porque ofrece diversas ventajas relativas: es fácil de establecer, las plantas crecen en forma rápida y vigorosa, y la productividad es elevada y uniforme. En México, debido al abasto reducido de material certificado para su establecimiento y al elevado costo de éste, anualmente son establecidas más de 53,000 ha con tubérculo procedente de fuentes informales, lo que implica serios problemas de manejo y conservación antes del establecimiento, y aumento de riesgos fitopatológicos, principalmente enfermedades de tipo viral que pueden disminuir el rendimiento entre 15 y 35 % (Qain, 1998).

Por lo anterior, es necesario considerar, de manera prioritaria, la posibilidad de usar tecnologías alternativas

de producción, entre las cuales está incluida la semilla botánica o sexual. En México, la semilla sexual de papa (SSP) solamente es utilizada en programas de mejoramiento genético; sin embargo, desde los años setenta, en muchos países existe la posibilidad de producir semilla-tubérculo sana a partir de ésta y, hace poco más de una década, en ocho países se está produciendo papa comercialmente a partir de la primera generación de tubérculos provenientes de esa fuente, entre los que destaca China con 15,000 ha (Pallais, 1991 y 1993).

Para la producción comercial de tubérculo, el empleo de semilla sexual ofrece cierto potencial económico y ventajas biológicas (Concibido, 1990; Almekinders *et al.*, 1996; Hernández, 1999); para que éste sea técnicamente viable debe existir la capacidad de producir cantidades suficientes con calidad aceptable (Sadik, 1983), por lo que es necesario desarrollar poblaciones altamente rendidoras

cuya semilla pueda ser producida de manera fácil y económica, es decir, formar progenitores con características que aseguren la producción de ésta, tener periodos prolongados de floración, elevado número de flores, buena fertilidad del polen, y alto grado de amarre de frutos y de formación de semillas (Pandey y Gupta, 1985; Gopal, 1994a, 1994b). Tales características son afectadas por el genotipo, el ambiente de producción y la interacción entre ambos, mientras que, en la calidad de la semilla, influye el proceso de extracción, beneficio y almacenamiento (Sadik, 1983).

La semilla sexual de papa, fisiológicamente madura, presenta letargo en grado variable (4 a 9 meses), dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales en las que se desarrolló y maduró el fruto, así como de los métodos de extracción y de la temperatura de almacenamiento (Pallais, 1995). Esta característica se debe, principalmente, a la falta de un proceso de selección para mejorar esa característica (Pallais *et al.*, 1991), lo cual le sirve a la especie como estrategia de supervivencia, aumentando la germinación cuando la semilla es establecida en condiciones favorables (Concibido, 1990). El letargo de la semilla sexual es inducido en el embrión durante la extracción de ésta o inmediatamente después, en función del manejo al que sea sometida; cuando la semilla es secada inmediatamente después de ser extraída, por lo común no entra en letargo y el uso de productos químicos para promover la germinación no es necesaria (Sadik, 1983).

Considerando que en los genotipos mexicanos de papa no se han llevado a cabo estudios acerca de la floración y otras características relacionadas con la producción y calidad de semilla sexual, los objetivos del estudio fueron: conocer el comportamiento de genotipos de papa en las características de floración y producción de semilla sexual; identificar genotipos de papa con elevado potencial de rendimiento de semilla sexual; y determinar la calidad fisiológica de la semilla botánica recién cosechada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las etapas de campo y de laboratorio del estudio fueron realizadas durante el ciclo de primavera-verano de 1991 y 1994, en instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México (19° 29' N, 98° 53' O y a una altitud de 2,249 m). El clima de la zona es C(W)(Wo)b(i)g: templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, una temperatura media anual de 15 °C, una oscilación térmica entre 5 y 7 °C, y marcha anual tipo Ganges, con una precipitación media anual de 645 mm (García, 1982); los suelos son profundos con un horizonte A de color negro y textura arcillo-limosa, y un horizonte B franco de color pardo grisáceo muy oscuro; la capacidad de retención de humedad y el contenido de materia orgánica es media y el pH es ligeramente alcalino (Cachón *et al.*, 1976).

En condiciones de "punta de riego" fueron establecidos genotipos, 10 en 1991 y 13 en 1994, de diferente origen genético; para la siembra se usó tubérculo sano, uniforme en tamaño (80±10 g) y en desarrollo de brotes. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones; la parcela experimental constó de cuatro surcos de 5 m de longitud, 0.8 m de anchura y 0.4 m de distancia entre plantas. En ambos años de prueba fue evaluado el número de flores (NFLP) y de bayas por planta (NBAP), en 10 plantas tomadas al azar dentro de los surcos centrales de la parcela experimental. El porcentaje de amarre de fruto (PAF) se estimó mediante la relación: $(NFLP/NBAP) \times 100$, y el rendimiento de semilla limpia y seca (RSSP), en kg·ha⁻¹, fue obtenido de todos los frutos cosechados en la parcela útil.

También, en 1994 fue evaluado el número de días después de la siembra (DDS) a floración media (NDF); número de racimos por planta (NRAP) y de flores por racimo (NFLR); porcentaje de viabilidad del polen (PVP), mediante tinción con aceto carmín; y número de bayas por racimo (NBAR) y de semillas por baya (NSB). Además, solamente las bayas del cv. Tollocan fueron clasificadas de acuerdo con su diámetro (cm) en muy chicas (<1.0), chicas (1.0 a 1.5), medianas (1.5 a 2.0), grandes (2.0 a 2.5) y muy grandes (>2.5), y fue extraída la semilla de 20 bayas de cada uno de esos tamaños.

Utilizando la semilla de cada genotipo y de los diferentes tamaños de baya del cv. Tollocan, fue determinado el peso de 100 semillas (PCS) y realizada la prueba estándar de germinación (ISTA, 1993) bajo condiciones controladas (25 °C y 100 % HR); durante 48 días, a intervalos de cuatro días, se registró el número de plántulas normales (NPN) y anormales (NPA) de acuerdo con lo indicado por Moreno (1985), para determinar el porcentaje de viabilidad (PV) y de germinación (PG), mediante las fórmulas $PV = [(NPN + NPA) / NSS] \times 100$ y $PG = (NPN / NSS) \times 100$, respectivamente, considerando el número de semillas utilizadas (NSS); además fue estimado el índice de velocidad de emergencia (IVE) de acuerdo con la fórmula propuesta por Maguire (1962), y el peso seco de las plántulas.

Con la información de cada variable se realizó el análisis de varianza y en las que existió diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias por diferencia mínima significativa (Steel y Torrie, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza mostraron diferencias genotípicas en la mayoría de variables evaluadas durante los dos ciclos de cultivo, en campo y en laboratorio. El comportamiento del número de flores y de bayas por planta, así como del rendimiento de semilla, fue relativamente mejor en 1994 que en 1991; las diferencias en tales variables fueron 10, 12, y 21 kg·ha⁻¹, respectivamente (Cuadro

1 y 2). Este comportamiento puede ser atribuido, principalmente, a la fluctuación de temperatura entre el día y la noche (casi 14 °C), y a la duración del fotoperiodo diario (<12 h) que resultó insuficiente para inducir la máxima producción de flores y amarre de frutos (Gopal, 1994a).

CUADRO 1. Características genotípicas relacionadas con la floración y producción de semilla sexual de papa.

Genotipo	Número de Flores por Planta	Número de Bayas por Planta	Amarre de Frutos (%)	Rendimiento de Semilla Sexual (kg·ha ⁻¹)
'Tollocan'	30 a-e ^z	14 a	47 a	138.80 a
'Michoacán'	19 c-g	6 b	32 a-c	9.22 b
'Rosita'	3 g	1 b	33 ab	2.33 b
'Juanita'	35 a-d	6 b	17 b-e	5.55 b
'65-ZA-5'	51 a	1 b	0.0 2e	3.06 b
'750-489'	14 c-g	4 b	29 a-d	0.80 b
'Alfa'	11 c-g	2 b	18 b-e	0.46 b
'Mexiquense'	46 ab	4 b	9 b-e	0.42 b
'Día-71'	28 a-f	1 b	4 b-e	0.24 b
'750-815'	31 a-d	3 b	10 b-e	0.11 b
DMS	24	6	24	69.11
Promedio	27	4	20	16.10

^zValores con la misma letra, dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: diferencia mínima significativa.

Durante 1994, la plena floración ocurrió, en general, entre la última semana del mes de julio y la primera quincena

de agosto; en ese periodo, la temperatura máxima, media y mínima fue de 23, 16 a 18 y 7 a 10 °C, respectivamente. El número de días para alcanzar la plena floración, permitió formar grupos de genotipos precoces (61 a 64), intermedios (65 a 68) y tardíos (69 a 71 DDS) (Cuadro 2). En promedio, esta etapa fenológica ocurrió a los 66 DDS (Cuadro 2) y mostró una diferencia de casi 10 días entre los genotipos precoces ('Tollocan' y 'C-171836': 62 DDS) y tardíos ('San José' y 'López': 71 DDS). La agrupación de genotipos de acuerdo al momento de ocurrencia de esta etapa fenológica, permitirá realizar prácticas agronómicas tendientes a lograr la máxima expresión de aquellas variables relacionadas con la floración, producción y calidad de la semilla, principalmente durante la producción de semilla híbrida, ya que operativamente, ésta es más complicada que la producción de semilla de polinización libre.

Las variables evaluadas en el experimento realizado durante 1991 variaron ampliamente entre genotipos (Cuadro 1): el número de flores (3 a 51) y de bayas por planta (1 a 14) determinaron el comportamiento del rendimiento de semilla (0.11 a 138.80 kg·ha⁻¹). Durante 1994, también hubo amplia variación en la mayoría de las variables en estudio (Cuadro 2), excepto en el número de racimos por planta (2 a 4): el número de flores por racimo (7 a 21), de flores por planta (14 a 92) y de semillas por baya (87 a 341) fueron los principales componentes que determinaron el rendimiento de semilla (9.4 a 75.0 kg·ha⁻¹). Resultados similares, con otros genotipos y en condiciones diferentes, fueron obtenidos por Arndt *et al.* (1990), Almekinders (1992) y Gopal (1994a, 1994b).

CUADRO 2. Características genotípicas relacionadas con la floración y producción de semilla sexual de papa. Chapingo, México. Primavera-Verano, 1994.

Genotipo	DF	NRM	NFR	NFLM	NBAM	PAF	PVP	NSBA	RSSP (kg ha ⁻¹)
'Tollocan'	62 cd ^z	3 ab	22 ab	66 a-e	24 ab	36 b-e	83 a	288 a-d	75.0 a
'Michoacán'	65 b-d	4 a	23 a	92 a	8 e	9 e	8 hi	148 e-h	9.4 d
'Rosita'	67 a-c	4 a	17 a-g	68 a-d	24 ab	35 b-e	79 a-c	341 a	71.9 ab
'San José'	71 a	2 b	7 i	14 l	12 c-e	86 a	7 i	306 a-c	34.4 cd
'López'	71 a	3 ab	14 c-f	42 c-i	21 a-c	50 b-d	51 a-g	288 a-d	59.4 a-c
'C-575049'	69 ab	3 ab	18 a-f	54 b-h	12 c-e	22 d-e	32 d-i	177 d-h	18.8 d
'Motzama'	69 ab	3 ab	10 i	30 e-i	18 b-d	60 a-c	59 a-e	335 ab	40.6 a-d
'Murca'	69 ab	2 b	14 c-f	28 f-i	18 b-d	64 ab	47 a-h	229 a-g	34.4 cd
'Norteña'	67 a-c	3 ab	15 b-h	45 c-l	15 b-e	33 b-e	60 a-d	87 h	9.4 d
'Greta'	67 a-c	3 ab	21 a-c	63 a-f	18 b-d	29 c-e	59 a-e	306 a-c	75.0 a
'Puebla'	66 a-d	3 ab	19 a-e	57 a-g	15 b-e	26 d-e	32 d-i	242 a-f	37.5 cd
'Ileri'	65 b-d	4 a	20 a-d	80 a-c	28 a	35 b-e	82 ab	139 f-h	43.8 a-c
'C-171836'	61 d	4 a	21 a-c	84 ab	24 b	29 c-e	56 a-f	268 a-e	71.9 ab
DMS	5	1	7	37	3	32	39	126	37.15
Promedio	66	3	17	56	18	40.0	50	242	44.73

^zValores con la misma letra, dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DF: Días a floración; NRM: Número de racimos por planta; NFR: Número de flores por racimo; NFLM: Número de flores por planta; NBAM: Número de bayas por planta; PAF: Porcentaje de amarre de frutos; PVP: Porcentaje de viabilidad de polen; NSBA: Número de semillas por baya; RSSP: Rendimiento de semilla sexual; DMS: diferencia mínima significativa.

La expresión diferencial del número de racimos por planta, número de flores por racimo y número de flores por planta en este estudio (Cuadro 1 y 2), puede atribuirse, principalmente, al genotipo, como lo mencionaron Sadik (1983) y Upadhy *et al.* (1984); sin embargo, estas características pueden ser afectadas por diferentes factores ambientales, como: duración del día, temperatura, precipitación, nivel nutrimental y fecha de siembra, así como por el número de tallos por planta y la competencia por fotoasimilados entre tubérculos y flores (Gopal, 1994a). En otros estudios, en muchos genotipos se observó el inicio de formación de botones florales, pero el desarrollo de éstos hasta flores maduras estuvo limitado por las características genéticas (Gopal, 1994b); además, el estrés por calor inhibió la floración, la producción y viabilidad del polen, limitando así la producción de semilla.

El número de bayas por planta varió de 1 a 14 y de 8 a 28 en 1991 y 1994, respectivamente, mientras que el amarre de frutos fue de <1 a 47 y de 9 a 86 %, en cada caso; por su parte, la viabilidad del polen tuvo un intervalo de 7 a 83 % (Cuadro 1 y 2). A pesar de la variación mostrada por estas características, los valores promedio fueron adecuados para la producción de semilla, pues se considera que más de cinco bayas por planta y 40 % de viabilidad de polen son los valores mínimos aceptables para dicho propósito (Almekinders, 1992; Gopal, 1994a). La reducida expresión del número de bayas por planta, porcentaje de amarre de frutos y porcentaje de viabilidad de polen, posiblemente se debió a la fluctuación de temperatura entre el día y la noche, y a la competencia por fotoasimilados entre los diferentes órganos de la planta, como ha sido indicado por Arndt *et al.* (1990) y Almekinders (1992); en la aborción de botones florales, además de los factores anteriores, pudo haber influido el origen taxonómico de los genotipos (Gopal, 1994a), que en algunos casos determina diferentes niveles de incompatibilidad, una baja producción y calidad de polen (Bamberg, 1995).

En la mayoría de genotipos evaluados en 1994, el número de semillas por baya fue superior al promedio (242) y destacó en 'Rosita', 'Motzama', 'Greta' y 'San José' (Cuadro 2). De aplicar estrictamente el criterio propuesto por Gopal (1994b), en el sentido que éste debe ser mayor a 200, con el uso de esos genotipos, sería posible obtener un elevado rendimiento de semilla; no obstante, este último está determinado, en conjunto, por el producto del número de semillas por baya y el número de bayas por planta, por lo que ambos criterios deben prevalecer en la selección de genotipos productores de semilla, como lo evidencian los resultados obtenidos en 'Tollocan', 'Greta', 'Rosita' y 'C-171836' durante 1994, o en 'Tollocan' en 1991. Cuando alguna de esas características determinantes del rendimiento es de poca magnitud, el rendimiento de semilla tiende a ser bajo y a variar considerablemente entre genotipos, como lo indicó Almekinders (1992); esto explica, parcialmente, por qué sólo 10 y 31 % de los genotipos

evaluados en ambos años, tuvieron rendimiento de semilla aceptable desde un punto de vista comercial.

Los resultados anteriores evidencian la necesidad de generar material genético que asegure la producción de semilla, fácil y económicamente; es decir, lograr la cantidad y calidad suficiente al menor costo. Entre las características que deben reunir tales genotipos, está el periodo prolongado de floración, elevado número de flores, buena fertilidad del polen, y alto grado de amarre de frutos y de formación de semillas (Pandey y Gupta, 1985; Gopal, 1994a, 1994b), entre otras; además de generar información tecnológica sobre el proceso de extracción, beneficio y almacenamiento, por el efecto que ejercen en la calidad de la semilla (Sadik, 1983).

En general, la calidad de la semilla tendió a aumentar conforme lo hizo el tamaño de la baya (Cuadro 3), lo cual se puede atribuir al hecho de que los frutos grandes por lo común provienen de las inflorescencias que desarrollaron primero y, en consecuencia, al actuar como órganos más activos de demanda, proporcionaron mayor cantidad de metabolitos para el desarrollo de las semillas. Lo anterior también implica que, en la práctica, se debe utilizar semilla procedente de frutos grandes por las ventajas relativas que puede tener en el establecimiento y rendimiento del cultivo.

CUADRO 3. Efecto del tamaño de baya sobre la calidad de semilla sexual de papa, cv. Tollocan.

Diámetro de Baya (cm)	Peso de 100 Semillas (mg)	Viabilidad (%)	Germinación (%)	Peso Seco de Plántulas (dmg)	Índice de Velocidad de Emergencia
< 1.0	27 b ^z	76 ab	68 b	1.26 a	0.53 ab
1.0 - 1.5	35 ab	72 b	68 b	1.93 a	0.51 b
1.5 - 2.0	38 ab	76 ab	72 ab	2.06 a	0.64 ab
2.0 - 2.5	42 ab	88 ab	80 ab	2.13 a	0.82 a
> 2.5	50 a	92 a	84 a	2.53 a	0.80 ab
Promedio	38	80 a	72 a	1.98 a	0.66
DMS	17	16	13	0.90	0.29

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: Diferencia mínima significativa.

La germinación progresó con el transcurso de la prueba y mostró diferencias de 15 a 19 % entre las bayas muy chicas con respecto a la de las bayas muy grandes (Cuadro 4). Tales resultados confirman la importancia de utilizar bayas bien desarrolladas para la extracción de semilla sexual de papa y comprueban la presencia de letargo en ésta, ya que las condiciones en que se colocó para germinar, así como el periodo que se mantuvo en éstas, fueron favorables (ISTA, 1993); sin embargo, no ocurrió una germinación rápida y uniforme, como lo observaron en sus estudios otros investigadores (Concibido, 1990; Pallais *et al.*, 1991; Pallais, 1995).

CUADRO 4. Efecto del tamaño de baya en el porcentaje de germinación de semilla sexual de papa cv. Tollocan.

Diámetro de Baya (cm)	Días Después de Iniciada la Prueba										
	10	13	16	20	23	27	31	35	38	42	48
< 1.0	0 b ²	0 b	6 b	11 b	21 abc	22 ab	32 c	34 b	39 b	53 b	67 b
1.0 - 1.5	0 b	0 b	5 b	9 b	14 c	18 b	22 c	30 b	36 b	61 ab	69 ab
1.5 - 2.0	1 a	1 ab	9 ab	22 ab	28 abc	32 ab	39 c	41 ab	43 ab	65 ab	70 ab
2.0 -2.5	1 a	6 a	13 a	35 a	45 a	48 ab	59 ab	60 ab	60 ab	72 ab	78 ab
> 2.5	0 b	0 b	7 ab	30 ab	41 ab	52 a	62 a	70 a	75 a	80 a	82 a
DMS	1	5	6	22	26	30	15	34	32	20	13
Promedio	0	1	8	21	30	34	43	47	51	66	73

²Valores con la misma letra dentro de cada columna, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

El peso promedio de cien semillas fue 32 mg (Cuadro 5); con respecto a éste, sólo 38 % de los genotipos evaluados tuvieron semillas más pesadas, 15 % lo igualaron y en 53 % de estos fue menor. La correlación entre esta variable y el número de semillas por baya no fue significativa ($r=0.004$), lo cual discrepa con lo informado por Upadhyya *et al.* (1984) y Pallais *et al.* (1986) quienes mencionaron valores negativos de ésta; es posible que otras características de la baya, en particular, o de la planta, en general, influyan en el peso de la semilla, entre los que se puede considerar el tamaño y posición de la baya, la duración de su maduración y la competición que se establece con otros órganos de la planta aún en desarrollo (tubérculos, hojas y tallos).

La calidad fisiológica de la semilla fue aceptable (Cuadro 5); la viabilidad y germinación alcanzaron valores,

en promedio, de 79 y 72 %, respectivamente, que cumplen las expectativas del estudio. Sin embargo, para los organismos certificadores de semillas, tales valores pueden ser inaceptables porque no cumplen con la normatividad establecida. Generalmente se considera que la germinación debe ocurrir entre 10 y 15 días después de iniciar la prueba y se deben alcanzar valores mayores al 85 % (ISTA, 1993).

De manera similar a lo obtenido por Concibido (1990), las poblaciones de plántulas de los genotipos en estudio fueron heterogéneas y de poco vigor: el peso seco de las plántulas varió entre 0.6 y 2.6 mg, mientras que el índice de velocidad de emergencia lo hizo entre 0.4 y 0.7: en ambas características sólo destacaron los genotipos 'C-171836', 'Greta' y 'San José' (Cuadro 5). El poco vigor de las plántulas obtenidas a partir de la semilla sexual se debió, principalmente, a que el crecimiento del hipocótilo y raíz, y

CUADRO 5. Comportamiento de algunas características de calidad de la semilla sexual de papa.

Genotipo	Peso de 100 Semillas (mg)	Viabilidad (%)	Germinación (%)	Índice de Velocidad de Emergencia	Peso Seco de Plántulas (dmg)
'Tollocan'	35 a-d ²	84 ab	74 a-c	0.5 bc	1.9 a-c
'Michoacan'	26 f-h	75 c-e	66 cd	0.4 bc	1.6 b-d
'Rosita'	29 c-h	76 b-e	74 a-c	0.6 ab	0.6 e
'San José'	32 a-f	78 a-d	74 a-c	0.6 ab	2.1 a-c
'López'	32 a-f	75 c-f	66 cd	0.5 bc	2.2 a-c
'C-575049'	31 a-f	84 ab	74 a-c	0.6 ab	1.6 b-d
'Motzama'	22 h	69 ef	65 d	0.4 bc	2.6 a
'Murca'	27 d-h	79 a-d	70 b-d	0.6 ab	1.1 d-e
'Norteña'	30 b-g	86 a	79 a	0.6 ab	1.7 b-d
'Greta'	38 a	80 a-c	76 ab	0.6 ab	2.3 a-c
'Puebla'	34 a-e	74 c-f	65 d	0.6 ab	1.4 c-e
'Irerí'	36 a-c	80 a-c	75 ab	0.5 bc	2.3 a-c
'C-171836'	37 ab	84 ab	79 a	0.7 a	2.5 a-b
DMS	7	8	8	0.2	0.9
Promedio	32	79	72	0.6	1.8

²Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

el desarrollo de cotiledones fue reducido, ya que no hubo un proceso de selección para mejorar esas características y, porque al sembrar la semilla no se considera la duración de los efectos inhibitorios de la germinación, como ha sido señalado por Pallais *et al.* (1991); es este sentido, considerando que existe una correlación alta entre la germinación y el peso de las plántulas con el peso de la semilla (Concibido, 1990), además de las diferencias genotípicas en tales características, éstas pueden ser utilizadas como criterios de selección para obtener plántulas vigorosas que, bajo condiciones de producción comercial en campo, manifiesten buen comportamiento agronómico.

La prueba de germinación efectuada en 1994 mostró, también, que la semilla aún estaba en letargo (Cuadro 6), lo que coincide con lo indicado por otros autores (Pallais *et al.*, 1991; Pallais, 1995). La germinación fue errática y variable, independientemente del genotipo; comenzó hasta los 13 días, a los 48 días apenas alcanzó 72 %, en promedio, aunque en los genotipos 'C-171836' y 'Norteña' fue relativamente mayor. Si bien el letargo sirve como estrategia de supervivencia ante condiciones desfavorables (Concibido, 1990), estos resultados tienen poca utilidad práctica porque el establecimiento óptimo de cualquier cultivo requiere que la germinación sea rápida y uniforme, y que el crecimiento inicial de las plántulas haga uso eficiente de los factores ambientales; en el caso específico de la semilla sexual de papa, se ha indicado que un embrión germinado no es evidencia suficiente del rompimiento del letargo (Pallais *et al.*, 1991) y que lotes de ésta con 90 % de germinación o más en el laboratorio no aseguran ese nivel de emergencia en el campo (Pallais, 1995), por lo

que es necesario realizar más estudios que den solución a esta problemática.

CONCLUSIONES

Los genotipos de papa evaluados mostraron diferencias significativas en las características morfológicas y agronómicas que determinan su capacidad de producción de semilla sexual y la calidad fisiológica de ésta.

El rendimiento de semilla estuvo determinado, principalmente, por el número de semillas por baya y el número de bayas por planta; este último fue ampliamente influenciado por el número de flores por planta y el porcentaje de amarre de frutos.

La viabilidad de polen tuvo menos relación con el amarre de frutos en comparación con el efecto de la temperatura media diaria y el intervalo de temperatura entre el día y la noche durante el periodo de floración.

En el cv. Tollocan, la calidad fisiológica de la semilla tendió a mejorar conforme aumentó el tamaño de las bayas de las cuales fue extraída; además, conforme se prolongó el periodo postcosecha, el letargo disminuyó de manera natural con lo que aumenta la viabilidad y germinación.

El cv. Tollocan sobresalió por su elevado rendimiento de semilla; sin embargo, mejor calidad de ésta mostraron los genotipos 'San José', 'Greta', 'Tollocan', 'C-171836' y 'C-575049'.

CUADRO 6. Dinámica de la germinación (%) de la semilla sexual de papa en condiciones de laboratorio.

Genotipo	Días Después de Iniciada la Prueba									
	13	16	20	23	27	31	35	38	42	48
'Tollocan'	0 c ²	5 c-e	9 cd	14 b-e	21abc	22 b	30 abc	36 bc	61 b-l	74 a-d
'Michoacán'	1 b	2 de	6 cd	6 de	8 bc	14 b	16 c	22 c	49 l	66 d-e
'Rosita'	0 c	7 cd	9 cd	15 b-e	18 abc	30 ab	38 abc	41 abc	66 a-f	73 a-e
'San José'	0 c	5 c-e	11 a-d	15 b-e	33 ab	33 ab	38 abc	46 abc	72 ab	74 a-d
'López'	1 b	1 e	3 e	3 e	5 c	14 b	22 bc	26 c	64 a-g	66 d-e
'C-575049'	0 c	8 bc	16 a-c	20 a-d	21 abc	31 ab	38 abc	46 abc	62 b-h	74 a-d
'Motzama'	0 c	1 e	7 cd	9 de	10 bc	18 b	20 bc	23 c	53 g-l	65 e
'Murca'	0 c	7 cd	22 a	27 ab	30 ab	43 ab	51 ab	56 ab	68 a-e	70 b-e
'Norteña'	0 c	5 c-e	10 bd	10 abc	14 abc	26 ab	37 abc	42 abc	71 a-c	79 a
'Greta'	3 a	6 c-e	11 a-d	17 abc	20 abc	30 ab	31 abc	34 bc	70 a-d	76 ab
'Puebla'	1 b	14 a	21 ab	26 ab	27 abc	38 ab	42 abc	45 abc	57 a-l	65 e
'Irerí'	0 c	4 c-e	7 cd	9 bc	10 bc	14 b	26 bc	34 bc	62 b-h	75 a-c
'C-171836'	0 c	13 ab	22 a	33 a	38 a	53 a	58 a	68 a	76 a	79 a
DMS	1	6	11	14	16	19	19	20	12	8
Promedio	0.5	5	15	16	20	28	34	40	64	72

²Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
DMS: diferencia mínima significativa.

LITERATURA CITADA

- ALMEKINDERS C., J. M.; CHILVER, A. S.; RENIA, H. A. 1996. Current status of the TPS technology in the word. *Potato Research* 39: 289-303.
- ALMEKINDERS C., J. M. 1992. The effect of photoperiod on flowering and TPS production in the warm tropics. *Potato Research* 35: 433-442.
- ARNDT, G. C.; RUEDA, J. L.; KIDANE-MARIAM, H. M.; PELOQUIN, S.J. 1990. Pollen fertility in relation to open pollinated true seed production in potatoes. *Amer. Potato J.* 67: 499-505.
- BAMBERG, J. B. 1995. Screening potato (*Solanum*) species for male fertility under heat stress. *Amer. Potato J.* 72: 23-33.
- CACHÓN, A.; NERI G., H.; CUANALO DE LA C., H. 1976. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Colegio de Potsgraduados. Montecillo, México. pp. 57-89.
- CONCIBIDO V., C. 1990. A seed selection system for vigorous true potato seed. *HortScience* 25: 400 (Abstract).
- GARCÍA, E. 1982. Modificaciones al Sistema Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 246 p.
- GOPAL, J. 1994a. Flowering behaviour, male sterility and berry setting in tetraploid *Solanum tuberosum* germoplasm. *Euphytica* 72: 133-142.
- GOPAL, J. 1994b. Genetics resources of potato: flowering and fruiting behaviour in north-western plains of India. *J. Indian Potato Assoc.* 21: 211-215.
- HERNÁNDEZ, A. 1999. La producción de papa por semilla sexual. *Cultivos Tropicales* 20: 57-71.
- INTERNATIONAL TESTING ASSOCIATION (ISTA). 1993. International Rules for Seed Testing. Rules 1993. *Seed Sci. Tech.* 21: 1-177 (Supplement).
- MAGUIRE, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.
- MORENO M., E. 1985. Pruebas de germinación, pp. 103-186. *In: Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas.* Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- PALLAIS, N. 1995. Storage factors control germination and seedling establishment of freshly harvested true potato seed. *Amer. Potato J.* 72: 427-436.
- PALLAIS, N. 1993. Sexually propagating potatoes. *HortScience* 28: 492 (Abstract).
- PALLAIS, N. 1991. True potato seed: changing potato propagation from vegetative to sexual. *HortScience* 26: 239-241.
- PALLAIS, N. E.; ESPINOLA, N. Y.; FALCON, R. M.; GARCÍA, R. S. 1991. Improving seedling vigor in sexual seeds of potato under high temperature. *HortScience* 26: 296-299.
- PALLAIS, N.; KALAZICH B., J.; SANTOS-ROJAS, J. 1986. Physical relationship between berries and seeds of potato. *HortScience* 21: 1359-1360.
- PANDEY, S. K.; GUPTA, P. K. 1985. Comparison of andigena and tuberosum for enhancing TPS production. *J. Indian Potato Assoc.* 22: 122-128.
- QAIN, M. 1998. Transgenic Virus Resistant Potatoes in Mexico: Potential Socioeconomic Implications of North-South Biotechnology Transfer. ISAAA Briefs # 7. ISAAA, Ithaca, N.Y., USA. 48 p.
- SADIK, S. 1983. Potato Production from TPS – Present and Future, pp. 18-25. *In: Research for the Potato in the Year 2000.* International Potato Center (IPC). Lima, Peru.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. 1985. *Bioestadística: Principios y Procedimientos.* Primera Edición en Español. R. Martínez B. y J. M. Castaño (Traductores). Editorial McGRAW-HILL. Bogotá, Colombia. 622 p.
- UPADHYA, R.; THAKUR, K. C.; ASHA JUNEJA, K. C.; KADIAN, M. S. 1984. True potato seed production: flowering, quality and economics, pp. 117-147. *In: Innovative Methods for Propagating Potatoes.* International Potato Center (IPC). Lima, Perú.